

Tuomo Peltola

HIILIDIOKSIDIA KYLMÄAINEENA KÄYTTÄVIEN MARKETTIENTEN LÄMMITYS

Opinnäytetyö
Talotekniikan koulutusohjelma


Huhtikuu 2013



MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU

Mikkeli University of Applied Sciences

KUVAILEHTI

		Opinnäytetyön päivämäärä 26.4.2013
Tekijä(t) Tuomo Peltola		Koulutusohjelma ja suuntautuminen Talotekniikka
Nimeke Hiilidioksidia kylmäaineena käyttävien markettien lämmitys		
Tiivistelmä <p>Tässä tutkimuksessa perehdyttiin kolmen hiilidioksidia kylmäaineena käyttävän marketin energiankulutuksiin sekä erityisesti tarkasteltiin lauhdelämmön talteenotosta hyödyksi saatavaa energian määrää. Työn tavoitteena oli luoda suunnittelua helpottava ohje, jota apuna käyttäen voidaan helposti valita oikea lämmitysjärjestelmä markettikohteisiin.</p> <p>Kohteiden energiankulutuksista kerättiin rakennusautomaation avulla tietoja, joiden perusteella arvioitiin rakennuksen energiatehokasta toimivuutta. Sen avulla saatiin mm. tietoja sähkönkulutuksista eri mittauspisteillä sekä lauhdelämmön talteenotosta hyödynnetty energiamäärä. Saatujen mittaustulosten perusteella suoritettiin laskelmia, joiden avulla pystyttiin arvioimaan, mikä lämmitysjärjestelmä on paras markettikohteisiin.</p> <p>Työn tuloksena todettiin, että aina kun saatavilla on kaukolämpöä, kannattaa markettirakennus liittää lähes poikkeuksetta siihen. Sähkölämmitys ei kannata korkeiden energian hintojen vuoksi. Maalämpö saattaa olla varteenotettava vaihtoehto, mutta korkeat investointikustannukset asettavat omat ehtonsa kannattavuuslaskelmiin.</p> <p>Huomattavaa kuitenkin on, että tutkimus tehtiin olemassa oleville rakennuksille, eikä tulevaisuudessa tiukentuvien energiamääräysten myötä välttämättä voida vetää enää samoja johtopäätöksiä. Lisäksi mikäli tarvittavaa lisälämmitystarvetta saadaan pienennettyä ja lauhdelämmön talteenotosta hyödynnettyä energiamäärää kasvatettua, voi tilanne muuttua toisenlaiseksi.</p>		
Asiasanat (avainsanat) Hiilidioksidi, myymälät, energiankulutus, kylmäteknikka, lämmitys		
Sivumäärä 49+4	Kieli Suomi	URN
Huomautus (huomautukset liitteistä)		
Ohjaavan opettajan nimi Heikki Salomaa		Opinnäytetyön toimeksiantaja Granlund Lahti Oy

DESCRIPTION

 <p>MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU Mikkeli University of Applied Sciences</p>		Date of the bachelor's thesis 26.4.2013	
Author(s) Tuomo Peltola		Degree programme and option Building services	
Name of the bachelor's thesis Heating of the shops that are using carbon dioxide as a refrigerant			
Abstract <p>The purpose of the thesis was to research three shops which all were of different sizes. The main goal was to investigate the energy consumption of the shops. All of the shops used carbon dioxide as a refrigerant.</p> <p>Energy consumption of the buildings was investigated through the building automation system. Buildings' electrical energy and thermal energy could be measured with automation system in February. With the results, calculations were made and the best heating system could be chosen to each building.</p> <p>The results were clear. District heating is overwhelming when compared to electric heating. If district heating is available the building should be linked to district heating network. Ground loop heat pump heating system is one good option, but high investment costs are reducing systems viability. Price of the electricity is slightly expensive nowadays so the district heating system will pay back in few years.</p> <p>The energy regulations will tighten in the future. That is why the energy efficiency of shop buildings should be improved also. Condensation heat recovery is one good way to do it, but also solar power should be considered.</p>			
Subject headings, (keywords) Carbon dioxide, shops, energy consumption, refrigeration technology, heating			
Pages 49+4	Language Finnish	URN	
Remarks, notes on appendices			
Tutor Heikki Salomaa		Bachelor's thesis assigned by Granlund Lahti Oy	

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	1
2	HIILIDIOKSIDI KYLMÄKONEISSA	2
2.1	Hiilidioksidin edut.....	2
2.2	Hiilidioksidin fysikaaliset ominaisuudet	4
2.3	Hiilidioksidin kylmäprosessit	5
2.3.1	Alikriittinen prosessi	5
2.3.2	Transkriittinen prosessi	6
2.4	Hiilidioksidin käyttö kylmäkoneistoissa	7
2.4.1	Hiilidioksidi lämmönsiirtoaineena.....	7
2.4.2	Hiilidioksidi kylmäaineena	10
3	LAUHDELÄMMÖN TALTEENOTTO.....	11
3.1	Yleistä lauhdutuksesta.....	11
3.2	Lauhdelämmön hyödyntäminen marketeissa	12
4	TARKASTELTAVAT KOHTEET	13
4.1	Ohjeet ja määräykset	14
4.2	Sale Jyräkö.....	14
4.3	S-market Villähde	16
4.4	S-market Lammi	18
5	LASKENNALLISEEN VERTAILUUN TARVITTAVAT LÄHTÖTIEDOT....	20
5.1	Energian kulutus	20
5.2	Energian hinnat	23
5.3	Liittymiskustannukset	24
5.4	Investointikustannukset	25
5.5	Yhteenveto.....	26
5.5.1	Kaukolämpö	26
5.5.2	Sähkö.....	27
5.5.3	Maalämpö.....	27
6	MARKETTIEN MITATUT ENERGIANKULUTUKSET	28
6.1	Sale Jyrängön kulutukset.....	28
6.2	S-market Villähteen kulutukset	32
6.3	S-market Lammin kulutukset	36

6.4	Rakennusten vertailu	39
		<hr/>
7	LÄMMITYSJÄRJESTELMIEN KUSTANNUSVERTAILU	40
		<hr/>
7.1	Sale Jyränkö.....	40
7.2	S-market Villähde	41
7.3	S-market Lammi	43
		<hr/>
8	JOHTOPÄÄTÖKSET	44
		<hr/>
	LÄHTEET	48
		<hr/>
	LIITEET	

1 JOHDANTO

Hiilidioksidi eli CO₂ on erittäin vanha kylmäaine. Sitä käytettiin yleisesti 1900-luvun alussa, mutta vaiheittain se väistyi pois käytöstä uusien parempia ominaisuuksia omaavien kylmäaineiden tieltä. Nykyään hiilidioksidi on tekemässä paluuta, sillä lähes kaikkiin uusiin markettikohteisiin kylmäaineeksi valitaan juuri hiilidioksidi. Syyinä tähän ei ole pelkästään hiilidioksidin hyvät fysikaaliset ominaisuudet, vaan myös Euroopan päättäjien suunnalta asetuksien muodossa tuleva paine, jolla pyritään ohjaamaan kylmäaineita ympäristöystävällisempään suuntaan. Lisäksi hiilidioksidilla toimivien laitteiden valmistustekniikka on kehittynyt, joten komponenttien valmistaminen on halvempaa kuin ennen. Hiilidioksidia on myös helposti saatavilla ja se on halpaa verrattuna perinteisiin HFC-kylmäaineisiin.

Tässä työssä tarkastellaan nimenomaan hiilidioksidia kylmäaineena käyttäviä marketteja. Tarkastelun pääpaino kohdennettiin lauhdelämmön talteenotosta saatavan energiamäärän tutkimiseen ja toisaalta tarvittavaan lisälämmitysenergiaan, joka joudutaan tuottamaan jollain lämmitysjärjestelmällä lauhdelämmön lisäksi. Tarkasteltaviksi lisälämmitysjärjestelmiksi valikoituivat sähkölämmitys, kaukolämpö sekä maalämpö. Sähkölämmitys ja kaukolämpö ovat näistä vaihtoehtoista selvästi useimmiten käytetyt lämmitysmuodot marketeissa. Maalämpö ei ole kovin yleinen markettikohteissa, mutta se otettiin tarkasteluun, jotta pystytään tarkastelemaan onko se kannattava vaihtoehto. Tarkasteluja suoritettiin kolmessa erikokoisessa marketissa, jotka olivat Sale Jyränkö Heinolassa, S-market Villähde Nastolassa sekä S-market Lammi Lammilla. Kaikki kohteet ovat Osuuskauppa Hämeenmaan omistamia kiinteistöjä.

Työssä pyrittiin selvittämään, kuinka paljon marketin kylmäkoneiden kuluttamasta sähköenergiasta saadaan hyödynnettyä lauhdelämmön talteenoton kautta lämmitykseen ja mikä on lisälämmön osuus lämmityksestä. Kaikille kohteille laskettiin myös arvioitu lisälämmityksen vuosikulutus, jonka perusteella pystytään arvioimaan, kumpi lämmitysjärjestelmä on kustannustehokkaampi käytössä. Näin ollen tutkimuksessa saatuja tuloksia voitaisiin käyttää apuvälineenä tulevaisuudessa valittaessa lämmitysjärjestelmää markettikohteisiin. Vuosikulutus on laskennallinen, koska mikään kohteista ei ole ollut toiminnassa vielä yli vuotta, joten mittaustuloksia kokonaiselta kalenterivuodelta ei ole saatavilla.

Erityisen mielenkiintoisen tutkimuksesta tekee juuri hiilidioksidi kylmäaineena. Tällaiset järjestelmät ovat vasta kovaa vauhtia yleistymässä Suomessa, joten kovin paljon aikaisempaa tietoa ja kokemusta järjestelyistä ei ole. Entuudestaan tiedetään, että hiilidioksidiä käyttävän kylmäkoneen kylmäkerroin (EER) on jonkin verran huonompi perinteiseen kylmäaineeseen verrattuna, mutta tähän saakka kerätyn käytännön kokemuksen mukaan ero olisi kuitenkin merkittävästi teoreettista pienempi.

Lisäksi on olemassa vielä mahdollisuus, että kylmäkoneen lauhtumispainetta nostetaan varta vasten, jolloin lauhdelämmön talteenotosta saadaan kuumempaa vettä. Tällaisella järjestelyllä kylmäkone toimii eräänlaisena suurena lämpöpumppuna kokonaisenergiatarkastelun kannalta. Tällainen järjestely yhdistettynä marketin sisäisiin lämpökuormiin voisi riittää kattamaan marketin lämmitystarpeen suurimman osan vuodesta, eikä lisälämmitystä välttämättä tarvittaisi talven huippupakkasia lukuun ottamatta ollenkaan. Tällä voi kuitenkin olla vaikutusta kompressorien yms. kestoon, jolloin laitteiston perustarkoitus eli elintarvikkeiden jäähdyttäminen voi vaarantua.

2 HIILIDIOKSIDI KYLMÄKONEISSA

Hiilidioksidi eli R744 on yksi vanhimmista kylmäaineista. Sitä käytettiin ensimmäisissä kylmäkoneissa jo 1800-luvun lopulla. Se oli yleisesti käytössä noin 1940-luvulle saakka, jonka jälkeen halogeenihiilivetypohjaiset kylmäaineet korvasivat vanhat kylmäaineet. Suurin syy hiilidioksidin poistumiseen oli putkistojen ja kompressorien raskaus sekä senaikaisten prosessien huono hyötysuhde. Nykyään hiilidioksidi on kuitenkin yleistymässä nopeasti. /1, s. 4./

2.1 Hiilidioksidin edut

Hiilidioksidi tekee paluuta, sillä nykypäivänä yritetään etsiä mahdollisimman ympäristöystävällistä, mutta kuitenkin tehokasta kylmäainetta. Näissä kategorioissa hiilidioksidi pärjää hyvin, ja siksi se onkin jo yleisesti käytössä Euroopassa ja nyt yleistymässä myös Suomessa. Suurin syy hiilidioksidin yleistymiseen markettien kylmäkoneistoissa on se, että vanhat CFC- ja HCFC-kylmäaineet ovat saaneet käyttökiellon uusissa kylmlaitoksissa niiden suuren GWP-arvon (Global Warming Potential) vuoksi. Lisäksi uuden Euroopan Komission asetusehdotuksen /2/ mukaan myös HFC-

kylmäaineet tultaisiin kieltämään vuoden 2019 loppuun mennessä, joten tämä toteutuksessaan parantaa hiilidioksidin asemaa entisestään, sillä HFC-kylmäaineilla GWP-arvot ovat vähintään yli tuhatkertaisia hiilidioksidiin verrattuna. GWP-arvo ilmoittaa kylmäaineen kasvihuonehaitallisuuden, jossa vertailtavana aineena on juuri hiilidioksidi, jonka GWP-luku on 1. GWP-arvo lasketaan yleensä sadan vuoden ajanjaksolle. /3./

Hiilidioksidilla on monia etuja verrattuna perinteisiin kylmäaineisiin. Tärkeimmät ovat aineen otsonihaitattomuus sekä se, että sillä ei ole ilmaston lämpenemiseen vaikuttavia ominaisuuksia. Yksi tärkeä tekijä on myös aineen myrkyttömyys. Koska haitat ihmiselle alkavat vasta silloin, kun pitoisuus ylittää 30 000 ppm:aa, ei ole kovinkaan todennäköistä, että vakavia tapaturmia pääsisi tapahtumaan. Hiilidioksidi on myös täysin palamaton aine, eikä se vaikuta mitenkään elintarvikkeisiin. Nämä ovat etenkin markettikohteissa erittäin tärkeitä ominaisuuksia. Pienen viskositeetin ansiosta myös pumppauskustannukset ovat alhaisempia ja voidaan käyttää hieman pienempiä putkia pienempien painehäviöiden takia. /4, s. 10./

Hiilidioksidilla on paljon hyviä ominaisuuksia, joita voidaan hyödyntää tehtäessä kylmää, mutta muutamia haittapuoliakin on. Tärkeimpinä voidaan pitää hiilidioksidin kovaa painetasoa sekä alhaista kriittistä lämpötilaa. Kriittisellä lämpötilalla tarkoitetaan sitä lämpötilaa, jonka yläpuolella höyryä ei voida enää nesteyttää painetta nostamalla. Hiilidioksidi on lisäksi väritön ja hajuton kaasu, joten vuotoja ei voida todeta aistinvaraisesti, vaan näiden toteamiseen tarvitaan mittalaitteita. Nämä edellä mainitut haittapuolet täytyy ottaa huomioon laitetta mitoittaessa. Usein kuitenkin hiilidioksidilaitteiston putkikoot jäävät pieniksi, joten painelaitedirektiivin kanssa ei tule ongelmia, mutta laitteen muiden komponenttien tulee olla myös korkeammalle painetasolle mitoitettuja. /4, s. 10./

Alhainen kriittinen lämpötila puolestaan aiheuttaa kylmäkertoimen heikentymisen korkeilla lämpötila-alueilla, jolloin prosessista tulee transkriittinen: tällöin kylmäaineprosessissa kuumakaasun paine ja lämpötila nousevat yli kriittisen pisteen (kuva 2). Kylmäkerroin eli EER (Energy Efficiency Ratio) puolestaan ilmoittaa kylmäkoneen kylmätehon suhteen sähköverkosta otettuun tehoon. Toisin sanoen, mikäli sähköverkosta otetaan 1 kW sähkötehoa ja kylmäkone tuottaa sillä 3 kW kylmätehoa, on EER-arvo 3. Suomessa hiilidioksidin matala lämpötilataso ei kuitenkaan aiheuta ongelmia, koska täällä kesää lukuun ottamatta lauhdutuslämpötilat pysyvät matalina. Puolestaan

esimerkiksi Etelä-Euroopassa korkeat lauhtumislämpötilat vaikuttavat heikentävästi kylmäkertoimeen. /4, s. 10./

2.2 Hiilidioksidin fysikaaliset ominaisuudet

Hiilidioksidi kuuluu epäorgaanisten kylmäaineiden ryhmään, joihin kuuluu myös esimerkiksi ammoniakki R717. Hiilidioksidin fysikaaliset ominaisuudet poikkeavat jonkin verran perinteisistä kylmäaineista. Taulukossa 1 on koottuna hiilidioksidin tärkeimmät fysikaaliset ominaisuudet ja vertailun vuoksi viereisessä sarakkeessa on myymälöiden kylmäkoneissa yleisesti käytetyn R404A-kylmäaineen vastaavat tiedot. Taulukossa kriittinen lämpötila tarkoittaa sitä lämpötilaa, jonka yläpuolella höyryä ei voida enää nesteyttää painetta nostamalla. Vastaavasti kriittinen paine tarkoittaa sitä painetta, jonka yläpuolella höyryä ei voida nesteyttää lämpöä poistamalla. Otsonihaitallisuus eli OPD (Ozone Depletion Potential) kuvastaa kylmäaineen suhteellista otsonihaitallisuutta. Vertailuarvona käytetään kylmäaineen R11 lukua, joka on 1,0. As-teikko on 0...1,0. Nykyään käytössä ei saa olla muita kuin OPD-arvon 0 omaavia kylmäaineita. Kasvihuonevaikutus, GWP, kuvastaa aineen kasvihuonehaitallisuuden sadan vuoden ajanjaksolle. Liukumalla tarkoitetaan kylmäaineen ominaisuuksista johtuvaa jäähtymistä lauhtumisen aikana. /1, s. 10; 3, s. 1./

TAULUKKO 1. Hiilidioksidin ja R404A:n fysikaaliset ominaisuudet /3/

	R744 (CO₂)	R404A
Moolimassa [g/mol]	44,0	97,6
Kiehumispiste [°C]	– 78,4	– 46,6
Kriittinen lämpötila [°C]	31,1	72,1
Kriittinen paine [bar]	73,8	37,3
Otsonihaitallisuus, OPD	0	0
Kasvihuonevaikutus, GWP	1	3260
Turvaluokka	A1	A1
Liukuma	ei liukumaa	0,8...0,2 °C
Yhteensopivat öljyt	MO, AB, MO+AB, PAO, POE, PAG	AB, POE, PVE, PAG

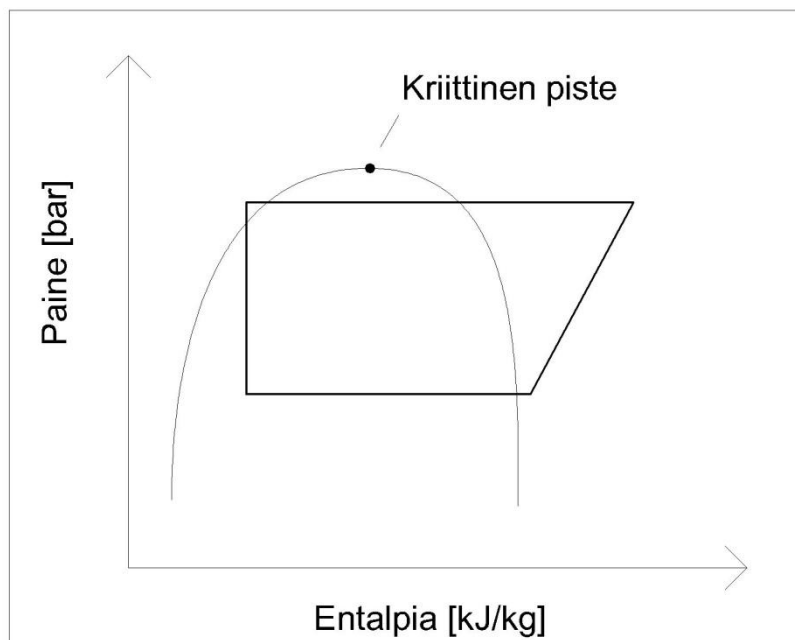
Kuten taulukosta 1 on nähtävissä, hiilidioksidin kriittinen lämpötila on hyvin alhainen verrattuna perinteiseen kylmäaineeseen, kun taas vastaavasti kriittinen paine on korkeampi.

2.3 Hiilidioksidin kylmäprosessit

Tässä luvussa esitellään hiilidioksidin kylmäaineprosessit. Kylmäaineprosessit jakautuvat alikriittisiin sekä transkriittisiin prosesseihin.

2.3.1 Alikriittinen prosessi

Hiilidioksidia voidaan käyttää kylmäaineena samalla tavoin kuin perinteisiäkin kylmäaineita: tällöin kylmäprosessi on alikriittinen eli aineen kriittisen pisteen yläpuolelle ei mennä lämpötilan tai paineen suhteen. Alikriittisessä prosessissa hiilidioksidi lauhtuu normaalisti lauhduttimessa, toisin kuin transkriittisessä prosessissa. Kuvassa 1 on esitetty perinteinen alikriittinen kylmäprosessi, jossa on pieni tulistuminen ja alijäähtyminen. Hiilidioksidin lg p,h-tilapiirros on liitteenä 1.



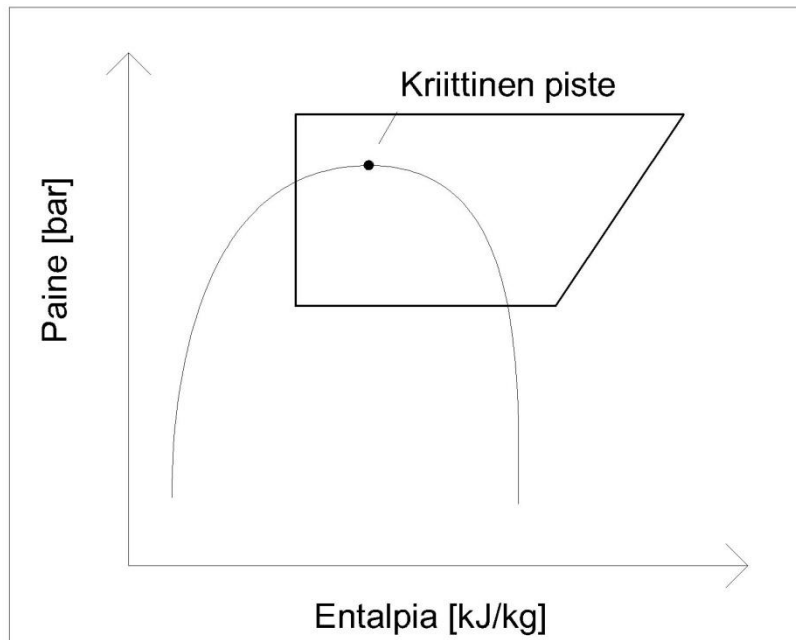
KUVA 1. Alikriittinen kylmäprosessi /1/

Kuvassa 1 esitetyn kylmäprosessin ongelmana on se, että hiilidioksidin fysikaalisista ominaisuuksista johtuen höyrystyslämpötila jää alhaiseksi. Prosessi palvelee hyvin pakkaskalusteita markettikohteissa, joissa höyrystyslämpötila on yleensä noin

-35 °C, mutta nk. pluspuolen kalusteille höyrystyslämpötila jää liian kylmäksi. Pluspuolella kalusteiden höyrystyslämpötilana käytetään yleisesti -10 °C.

2.3.2 Transkriittinen prosessi

Transkriittinen prosessi syntyy silloin, kun korkeapainepuolen paine ja lämpötila ovat kylmäaineen kriittisten pisteiden arvoja suuremmat. Tämän seurauksena lämmönluovutuksessa kylmäaine ei lauhdu, vaan ainoastaan jäähtyy. Siitä seuraa myös se, että ”lauhtumislämpötila” ei pysy vakiona, vaan muuttuu lämmönsiirtimissä kokoajan. Prosessi on esitettyä kuvassa 2.



KUVA 2. Transkriittinen kylmäprosessi /1/

Transkriittisen prosessin haittapuolena on korkeapainepuolen korkea käyttöpaine, joka voi olla luokkaa 90 – 120 bar, joten laitteistojen valmistus ja suunnittelu voi olla haastavaa. NykYTEKNIKALLA tällaisten painetasojen käyttäminen ei kuitenkaan aiheuta ylitse pääsemättömiä ongelmia. Lisäksi transkriittisen prosessin kylmäkerroin on selvästi huonompi kuin samoilla lämpötiloilla toimivan perinteisen kylmäaineen alikriittisen prosessin kylmäkerroin. Transkriittisen prosessin lämmönluovutuksessa tapahtuvaa kylmäaineen lämpötilanmuutosta voidaan puolestaan käyttää hyödyksi esimerkiksi lämmön talteenotossa, mikä on selvä etu markettikohteissa. Tokihan perinteistä kylmäainetta käyttävistä alikriittisistä laitoksistakin saadaan otettua talteen lauhdelämpöä, mutta paljon matalammalla lämpötilatasolla kuin hiilidioksidia käyttävissä laitoksissa.

Merkittävin ero lauhtumislämpötilan kannalta on se, että perinteisellä kylmäaineella se on liukumasta riippuen lähes vakio, mutta hiilidioksidin lämpötila laskee koko ”lauhtumisen” ajan. Talteen otettua lämpöä voidaan hyödyntää marketin lämmittämiseen tai lämpimän käyttöveden tekemiseen korottamatta puristuksen loppupainetta varta vasten. /4, s. 29./

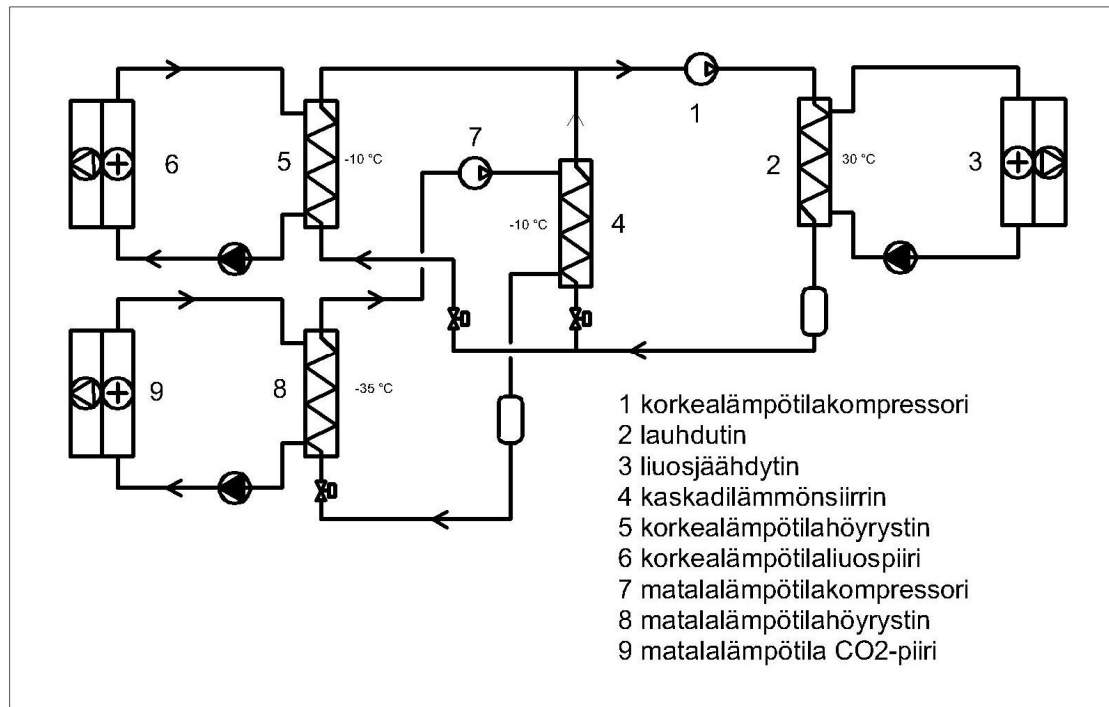
2.4 Hiilidioksidin käyttö kylmäkoneistoissa

Hiilidioksidia voidaan käyttää markettien kylmäkoneistoissa kahdella tavalla. Yksi vaihtoehto on käyttää hiilidioksidia pelkästään lämmönsiirtoaineena. Toisaalta hiilidioksidia voidaan käyttää myös varsinaisena kylmäaineena.

2.4.1 Hiilidioksidi lämmönsiirtoaineena

Hiilidioksidia voidaan käyttää lämmönsiirtoaineena nk. kaskadilaitteistoissa. Tällöin kylmäaineena käytetään perinteistä kylmäainetta ja höyrystys on toteutettu välillisesti hiilidioksidin avulla. Myös lauhtutus on usein välillinen, jolloin siihen on helppo liittää lämmön talteenotto. Hiilidioksidin käyttö väliaineena perustuu siihen, että sen volymetrinen kylmäntuotto on moninkertainen muihin kylmäaineisiin verrattuna. Tämä tarkoittaa sitä, että höyrystyessään nesteestä kaasuksi hiilidioksidi sitoo itseensä moninkertaisen määrän lämpöenergiaa verrattuna muihin kylmäaineisiin. Näin ollen se siirtää pienilläkin virtauksilla verrattain suuren kylmätehon. /7, s. 18./

Marketeissa on tarvetta kahdelle eri lämpötilatason kylmäteholle: matalalämpötilataso pakasteille ja korkealämpötilataso muille kylmätuotteille. Pakkaskalusteille käytetään kompressorien mitoituksessa usein lämpötilatasoja $-35/-10$ °C sekä pluskalusteille vastaavasti $-10/+30$ °C. Kuvassa 3 on esitetty esimerkki kaskadikoneiston kytkentäkaaviosta, jossa pluspuolen väliaineena toimii jokin liuos ja pakkaspuolella väliaineena on hiilidioksidi. Tällainen kytkentä on Ruotsissa yleisesti käytössä. Pluspuolella käytetään liuosta hiilidioksidin sijaan sen takia, että korkeamman lämpötilan johdosta tapahtuva paineen kasvu ei aiheuttaisi ongelmia. Välillisen järjestelmän etuna on myös se, että varsinaisen kylmäaineen täytös jää pieneksi. Haittana tällaisessa järjestelmässä on se, että kytkennässä on paljon eri komponentteja ja järjestelmän säätäminen oikeille lämpötiloille voi olla haasteellista. /4, s. 11./

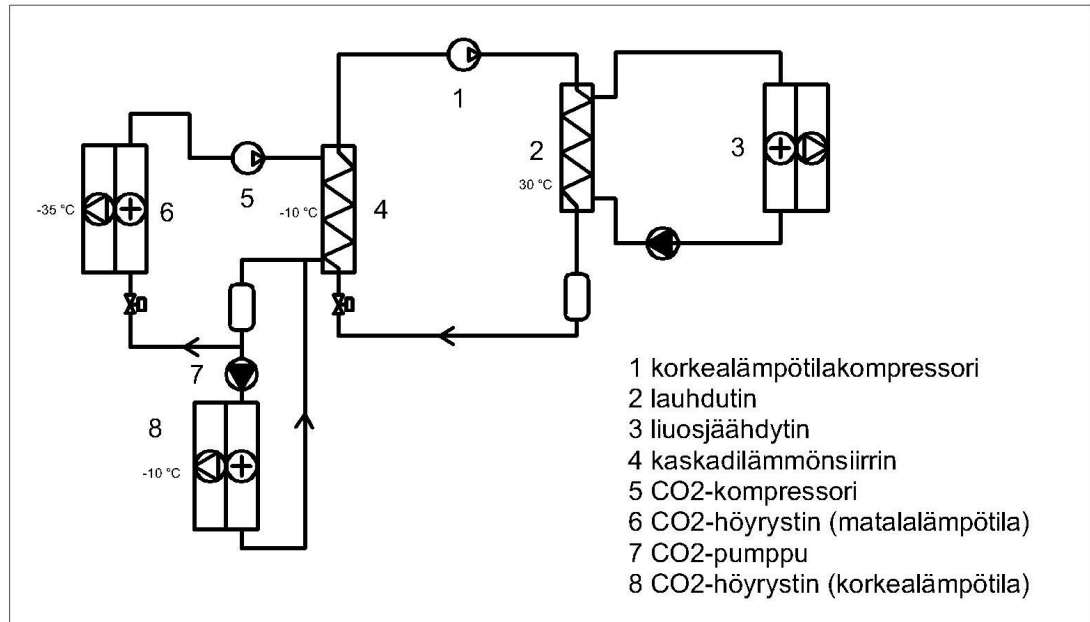


KUVA 3. Kytkentäkaavio kaskadikoneistosta, jossa pluspuolen väliaineena on jokin liuos ja pakkaspuolella hiilidioksidi /4, s. 12/

Kuvassa 3 äärimmäisenä oikealla on välillisen lauhdutuksen piiri, jossa on liuosjäähdytin. Liuosjäähdytin sijaitsee yleensä rakennuksen vesikatolla ja sinne johdetaan lämmennyt liuos jäähdytettäväksi. Järjestelmään voidaan myös kytkeä talteenottojärjestelmä, mikäli lauhdelämpöä on mahdollista hyödyntää jossakin järkevästi. Kuvan keskiosassa on korkeammalla lämpötilalla toimiva kylmäainepiiri. Siinä kompressori (1) kierrättää kylmäainetta sekä kaskadilämmönsiirtimelle (4) että korkealämpötilahöyrystimelle (5). Korkealämpötilahöyrystimen toisella puolella pumppu kierrättää jäähtynyttä liuosta pluspuolen kylmäkalusteille (6). Kuvassa on myös toinen kylmäainepiiri, joka toimii matalammalla lämpötilalla. Siinä kompressori (7) kierrättää kylmäainetta kaskadisiirtimen (4) ja matalalämpötilahöyrystimen (8) välillä, ja koska tämän kylmäainepiirin lauhtumislämpötila on sama kuin korkealämpötilapiirin höyrystymislämpötila, saadaan lämpötila laskettua paisuntaventtiilin avulla pakkaskalusteille sopivaksi. Matalalämpötilahöyrystimen toisella puolella pumppu kierrättää jäähtynyttä hiilidioksidia pakkaskalusteille (9).

Toinen mahdollinen kytkentätapa on esitetty kuvassa 4. Siinä sekä pluspuolen että pakkaspuolen jäähdytys on toteutettu hiilidioksidilla. Kytkenässä paine nousee pluspuolella korkeaksi, mutta nykyisin se ei ole ongelma. Hiilidioksidin etuna aiempiin

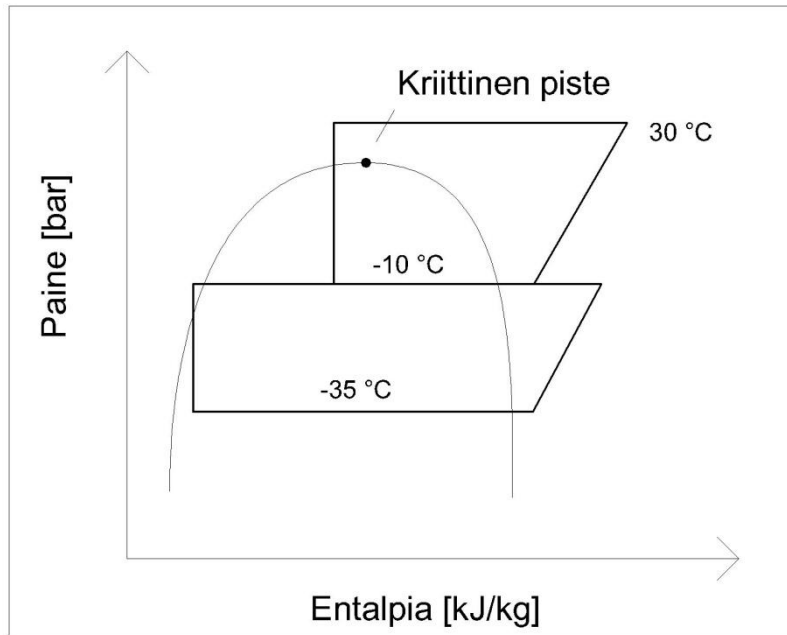
lämmönsiirtoliuksella toimiviin laitoksiin verrattuna ovat pienemmät putket, pienempi pumppausteho sekä olemattomat korroosio-ongelmat. Kuvan 4 kytkennässä on jo paljon vähemmän komponentteja verrattuna kuvaan 3, joten lämpötilojen säätö on todennäköisesti helpompaa. Lisäksi varsinaisen kylmäaineen täytös jää huomattavasti pienemmäksi. /4, s. 13./



KUVA 4. Kytkenkäkaavio koneikosta, jossa väliaineena on pelkästään hiilidioksidi /4, s. 12/

Kuvassa 4 jälleen äärimmäisenä oikealla on välillisen lauhdutuksen piiri, jolla kylmäkoneelta tuleva lauhde johdetaan liuosjäähdyttimelle (3). Keskellä kuvaa on varsinaisen kylmäainepiiri, jonka kylmäaineena voi toimia esimerkiksi perinteinen R404A. Kompressorit (1) kierrättää kylmäainetta normaaliin tapaan lauhduttimen (2) ja kylmäainepiirin höyrystimenä toimivan kaskadisiirtimen (4) välillä. Kaskadisiirtimen toisella puolella on hiilidioksidipiiri, johon on liitetty molemmat sekä plus- että pakkaskalusteet. Kuvassa hiilidioksidipumppu (7) kierrättää kaskadisiirtimeltä tullutta lauhtunutta hiilidioksidia varaajasäiliön kautta pluskalusteille (8), joissa hiilidioksidi jälleen höyrystyy ja kiertää takaisin varaajasäiliöön. Osa varaajalta lähtevästä hiilidioksidista kiertää pakkaskalusteiden kautta (6), mutta ennen tätä sen painetta lasketaan paisunta-venttiilissä, jolloin sen lämpötila myös laskee. Höyrystyttyään pakkaskalusteissa hiilidioksidi kierrätetään kompressorin avulla kaskadisiirtimelle (4), jossa hiilidioksidi jälleen lauhtuu ja palaa takaisin varaajaan.

Kuvassa 6 on esitetty booster-kylmäkoneen kylmäprosessi. Koska koneessa on kaksi höyrystintä sekä kaksi kompressoria, on prosessissakin kaksi erilaista kylmäainekiertoa. Toinen kierroista on matalalle lämpötilalle (esim. $-35/-10\text{ }^{\circ}\text{C}$), joka palvelee pak-kaskalusteita, ja toinen korkeammalle lämpötilalle (esim. $-10/+30\text{ }^{\circ}\text{C}$), joka puolestaan palvelee pluskalusteita.



KUVA 6. Booster-kylmäkoneen kylmäaineprosessi /8/

Kuvassa 6 esitetty booster-kylmäkoneen kylmäaineprosessi on hyvin tyypillinen ky-seiselle laitteelle. Mitoituslämpötilat voivat kuitenkin muuttua tilanteen mukaan.

3 LAUHDELÄMMÖN TALTEENOTTO

Tässä luvussa käsitellään lauhtumista ja lauhdelämmön talteenottoa. Lauhtuminen on yksi kylmäkoneen tärkeistä toiminnoista, joissa höyrystimessä ja kompressorissa si-dottu lämpöenergia luovutetaan pois koneesta.

3.1 Yleistä lauhdutuksesta

Kylmäprosessissa yksi neljästä perustapahtumasta on lauhtuminen. Tällöin, alikriitti-sen prosessin ollessa kyseessä, kompressorilta tuleva korkeapaineinen kuumakaasu lauhtuu nesteeksi lämpötilan ja paineen pysyessä vakioina. Lämpötila ja paine eivät

muutu, koska kylmäaine lauhtuessaan luovuttaa höyrystimessä ja kompressorissa sidotun energian pois. Kuitenkin joillain seoskylmäaineilla (esim. R407C) voi olla lämpötilaliukuma aineen koostumuksesta johtuen, mikä aiheuttaa lämpötilan muutoksen lauhtumisen aikana. Perinteisen kylmäkoneen lauhdelämpö koostuu kolmesta eri tekijästä: tulistuksenpoistosta, varsinaisesta lauhdutuksesta ja alijäähtytyksestä. Tulistuksenpoiston osuus lauhdelämmöstä on noin 10 – 20 %, varsinaisen lauhtumisen noin 80 – 90 % ja alijäähtymisen puolestaan noin 0 – 5 %. /6, s. 211./

Kylmälaitoksen lauhdutus voidaan toteuttaa joko suoraan tai välillisesti. Suorassa lauhdutuksessa lauhdelämpö lauhdutetaan suoraan kylmäkoneen lauhduttimesta ilmaan. Välillisessä lauhdutuksessa lämpö puolestaan lauhdutetaan lämmönsiirtimen kautta nestepiiriin, josta lämpöä voidaan jakaa edelleen esimerkiksi lattialämmitykseen. Usein lauhdelämmön hyödyntämisen haittana on sen matala lämpötilataso. Lauhdutuslämpötilan nostamisella on puolestaan ikäviä haittavaikutuksia, sillä jos sitä nostetaan yhdellä asteella, laitoksen kylmäkerroin huononee noin 3 %. Samaa laskukaavaa noudattaen kolmen asteen nostaminen siis heikentää kylmäkerrointa jo lähes 10 %. Toisaalta, kun käytössä on lauhdelämmön talteenotto, täytyy asiaa tarkastella kokonaisenergiatalouden kannalta. Tällöin nostettaessa lauhtumislämpötilaa saadaan myös lauhdelämmön talteenotosta enemmän tehoa irti. Tämä talteenotettu lämpöenergia voidaan palauttaa takaisin rakennukseen lämmitysjärjestelmän kautta. /6, s. 211./

3.2 Lauhdelämmön hyödyntäminen marketeissa

Perusedellytys lauhdelämmön hyödyntämiselle on riittävän suuri jäähdytysteho, jolloin myös lauhdelämpöä saadaan reilusti, ja lähes ympärivuotinen lämmitysenergian tarve. Myymäläkohteissa lauhdelämpöä on perinteisesti hyödynnetty parhaiten, koska siellä on suuri jäähdytysteho ja samanaikainen tarve lämmitysenergialle. Normaalisti rakennusten lämmitysenergian tarve koostuu kolmesta tekijästä: lämpövuodoista rakenteiden läpi, tuloilman lämmittämisestä ja lämpimän käyttöveden lämmittämisestä. Elintarvikemyymälöissä lämmitysenergian tarvetta lisää kuitenkin myös kylmäkalusteiden ja -tilojen aiheuttama jäädytysvaikutus, joka on noin 30 – 40 % kalusteiden jäähdytystehontarpeesta. Todellisuudessa jäähdyttävä vaikutus on kuitenkin osoittautunut pienemmäksi tutkittaessa olemassa olevia kohteita. Kalusteiden jäähdyttävän vaikutuksen vuoksi marketeissa on tarvetta lämmitysenergialle myös kesällä, mikä on suuri etu, koska silloin lämmöntarve voidaan täyttää lauhdelämmön talteenottojärjes-

telmän avulla. Nykyään marketeissa on useimmiten kannelliset pakastealtaat sekä verhot kylmäkalusteissa, mikä omalta osaltaan pienentää kalusteiden kylmettävää vaikutusta. Tämän johdosta myös kalusteille tarvittavan kylmätehon ja kylmäkalustealueelle tarvittavan lämmitystehon määrät pienenevät. Järjestelmää suunniteltaessa on syytä kuitenkin muistaa, että se ei saa missään olosuhteissa vaarantaa kylmäkoneiden toimintaa ja tätä kautta elintarvikkeiden säilyvyyttä. /6, s. 218./

Hiilidioksidia kylmäaineena käyttävissä booster-laitoksissa nousee esille myös sellainen mahdollisuus, että koko marketin tarvitsema lämpöenergia tuotettaisiin kylmäkoneella lauhdelämmön talteenottoa hyödyntäen. Käytännössä tällainen olisi mahdollista jopa vielä ulkoilman ollessa noin $-10 - -15^{\circ}\text{C}$, jolloin kylmäkoneen lauhdutuslämpötilaa ja -painetta nostettaisiin varta vasten, jotta talteenotosta saataisi riittävästi tehoa. Teoriassa tällaisella ajolla kylmäkone muuttuisi eräänlaiseksi lämpöpumpuksi, koska myymälästä kylmäkalusteilla poistettu lämpö palautettaisiin takaisin myymälän lämmitysjärjestelmään lauhdelämmön talteenottolaitteiston avulla, eikä lämpöä poistettaisi ulos kaasujäähdyttimen kautta. Tällöin itse kylmäkoneen hyötysuhde putoaa jonkin verran, koska koneikon kylmäkerroin putoaa. Kokonaisenergiatarkastelua tehtäessä marketin tarvitsema ostoenergian määrä todennäköisesti laskee, koska kylmäkoneella voidaan tuottaa lämpöä, joka normaalisti tuotettaisiin lämmitysjärjestelmällä. Tällaisen järjestelyn kannattavuus riippuu paljon siitä, millaisella lämpökertoimella lauhdelämmön talteenotolle saadaan ajettua lämpöä. Lisäksi lämmitykseen käytettävä ostoenergia ja sen hinta asettavat omat ehtonsa kannattavuuslaskelmiin. Tällaisesta järjestelystä ei ole vielä paljolti kokemuksia Suomessa. /9./

4 TARKASTELTAVAT KOHTEET

Tarkasteltaviksi kohteiksi valikoitui kolme erikokoista myymälää. Kohteiden valintaperusteista tärkeimmäksi nousi se, että niissä on käytössä hiilidioksidia kylmäaineena käyttävä kylmäkoneisto. Toinen tärkeä tekijä oli, että kohteet ovat etämonitoroituja, joka tarkoittaa, että rakennusautomaation kautta voidaan lukea kohteen anturitietoja ja suorittaa trendiseurantoja etäyhteyden avulla. Kaikki valitut myymälät ovat Osuuskauppa Hämeenmaan kiinteistöjä.

4.1 Ohjeet ja määräykset

Kuten kaikkea muutakin rakentamista, Suomen rakentamismääräyskokoelma ohjaa markettien rakentamista ja suunnittelua. Etenkin vuonna 2012 voimaan tulleet energiamääräykset, kuten rakentamismääräyskokoelman osa D3, ovat edesauttaneet myös markettien energiatehokasta rakentamista. Osaltaan tämä on vaikuttanut myös siihen, että kehitetään entistä tehokkaampia ratkaisuja, joilla esimerkiksi kylmäprosessista ylijäävä lauhdelämpö voidaan hyödyntää marketin lämmittämisessä. Edellä mainitun lisäksi kaupan toimijoita sitoo energiapalveludirektiivi, jonka tarkoituksena on vähentää kokonaisenergiankulutusta 9 % vuosina 2008 – 2016, lähtökohtana direktiiville pidetään vuoden 2005 kokonaisenergiankulutusta. /5, s. 6./ Määräysten ja direktiivien lisäksi S-ryhmällä on luonnossuunnittelua avustavat suunnitteluohjeet.

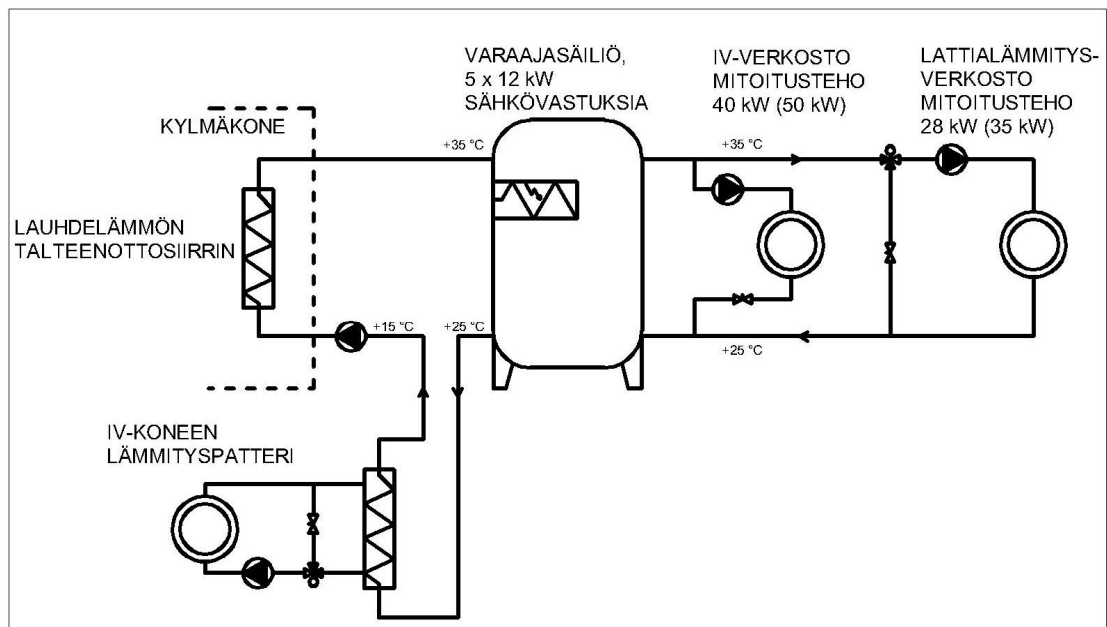
4.2 Sale Jyränkö

Sale Jyränkö sijaitsee Heinolassa ja on kerrosalaltaan noin 790 m² suuruinen. Tilavuutta rakennuksella on 4 300 m³. Myymälä on avattu asiakkaille 22.11.2012, eli kyseessä on tämän vertailujoukon uusin rakennus. Myymäläpinta-alaa rakennuksessa on noin 420 m², ja loput ovat takatiloja, sosiaalitiloja sekä teknisiä tiloja. Rakennuksessa on kaksi IV-konetta, joista toinen palvelee varsinaista myymälää ja siihen liittyviä tiloja ja toinen palvelee pelkästään sosiaalitiloja. Rakennuksessa sijaitsee varaajasäiliö, jota ladataan kylmäkoneista saatavalla lauhdelämmöllä. Tämän lisäksi säiliössä on 5 kappaletta 12 kW:n sähkövastuksia kattamassa huippupakkasten lämmitystehontarpeen. Rakennuksen lämmitys on toteutettu pääosin lattialämmityksellä teknistä tilaa lukuun ottamatta, joka lämpiää konvektoreiden avulla. Teknisentilan lisäksi rakennuksessa on muutama konvektori tuottamassa lisälämmitystä esimerkiksi tuulikaappiin. Näiden lisäksi varaston ja lastauslaiturin ovella on oviverhokoneet. /10; 11./

Rakennuksessa on kaksi erillistä lämmitysverkostoa, joista toinen on IV-verkosto ja toinen lattialämmitysverkosto. IV-verkoston mitoituksellinen teho on 40 kW, mutta järjestelmä on mitoitettu siten, että siitä saadaan 50 kW tarvittaessa, mikäli esimerkiksi laajennuksen takia tämä on tarpeellista. Rakennuksen konvektorit ja oviverhokoneet on myös liitetty IV-verkostoon. Vastaavasti lattialämmitysverkoston mitoitus-teho on 28 kW. Tähänkin verkostoon on jätetty varaus myöhempää käyttöä varten. Täysi mi-

toitusteho lattialämmitysverkossa on 35 kW. Molemmat verkostot toimivat lämpötiloilla 35/25 °C. Edellä mainittujen verkostojen lisäksi Jyrängössä on myös kolmas piiri, joka lämmittää IV-koneen esilämmityspatteria. Muista piireistä poiketen tämä on liitetty lämmönsiirtimeen, joka sijaitsee latauspiirin paluupuolella (kuva 7). Eli konkreettisesti siirrin sijaitsee varaajasäiliön ja kylmäkoneen lauhdelämmön talteenottosiirtimien välissä, jolloin lauhduttavaa vettä saadaan jäähdytettyä entisestään. Matalampi lauhdutusvesi puolestaan parantaa lauhdelämmön talteenotosta saatavaa tehoa. Lauhdutuslämpötila kannattaa pyrkiä pitämään mahdollisimman matalana, jolloin kylmäkone toimii paremmalla hyötysuhteella. IV-koneen esilämmityspiirin mitoitus-teho on 11 kW ja varaus on 17 kW lämpötilatasoilla 25/15 °C. /11./

Rakennuksen lämpimän käyttöveden lämmitys on toteutettu kahdella sähköllä toimivalla varaajalla. Toisen varaajan tilavuus on 500 l ja toisen 100 l. Nämä yhdessä pystyvät kattamaan marketin vähäisen käyttöveden tarpeen. Mitoituksellinen kylmäkoneen kompressorien kylmäteho pluspuolen kalusteille on 73 kW sekä vastaavasti pakkalusteille 11,7 kW. Tehoja vastaavat mitoituslämpötilat ovat pluspuolella -10/34 °C ja pakkaspuolella -35/-10 °C. Kuvassa 7 on esitetty pelkistetty periaatekaavio lämmitysjärjestelmästä. /11./



KUVA 7. Sale Jyrängön lämmityksen kytkentäkaavio /11/

Taulukkoon 2 on tiivistetty Sale Jyrängön tärkeimmät lähtötiedot.

TAULUKKO 2. Sale Jyrängön lähtötiedot

Sale Jyränkö	
Sijainti	Heinola
Kerrosala	790 m ²
Lämmitysmuoto	Sähkölämmitys
IV-verkoston teho	40 kW
Lattialämmitysverkoston teho	28 kW
Esilämmityspatterin teho	11 kW
Kylmäteho	
- Pluskalusteet	73 kW
- Pakkaskalusteet	11,7 kW

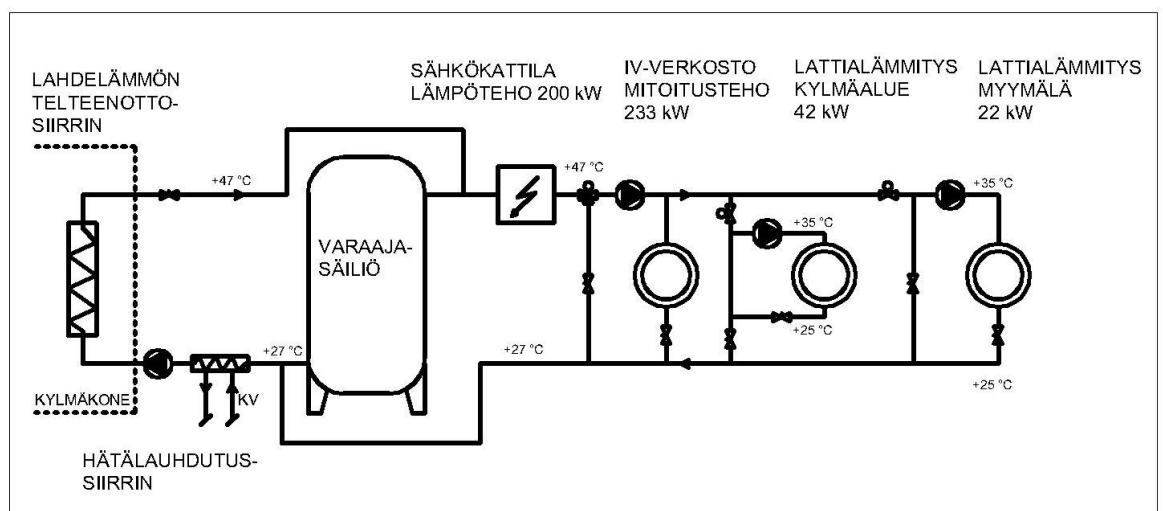
Sale Jyrängön pohjapiirustus on liitteenä 2.

4.3 S-market Villähde

S-market Villähde on Nastolassa sijaitseva kerrosalaltaan 2 026 m²:n kokoinen myymälä, joka avautui 31.5.2012. Tilavuutta rakennuksella on 12 610 m³. Kokonsa puolesta S-market Villähde on keskikokoinen S-market kokoluokkaan suhteutettuna. Rakennuksessa on n. 1400 m² myymäläpinta-alaa ja loppuosa koostuu takatiloista, sosiaalitiloista ja kylmiöistä. Toisessa kerroksessa sijaitsee IV-konehuone, josta löytyy rakennuksen kaksi IV-konetta sekä muu LVI-tekniikka. Toinen IV-koneista palvelee myymälää ja toinen sosiaalitiloja. Myymälätilan lämmitys on toteutettu lattialämmityksellä ja muiden tilojen pattereilla. Näiden lisäksi uloskäynneillä on oviverhokoneet lämmittämässä tuulikaappeja. Lämmitysjärjestelmä hyödyntää lauhdelämmöstä saatavaa lämpöä, jonka lisäksi sähkökattila kattaa loput lämmöntarpeesta. Lämmitysjärjestelmä on jaettu kolmeen eri verkostoon, joista yksi on ilmastointiverkosto ja kaksi muuta ovat lattialämmitysverkostoja. Ilmastointiverkostoon on liitetty myös rakennuksessa olevat patterit sekä oviverhokoneet. Verkoston mitoituksellinen teho on 233 kW lämpötiloilla 47/27 °C. Lattialämmitys on jaettu kahteen erilliseen verkostoon, joista toinen palvelee myymälän aluetta, jossa sijaitsee kylmäkalusteita, ja toinen

muuta osaa myymälästä. Kylmäaluetta palvelevan lattialämmityspiirin mitoitus-teho on 42 kW lämpötiloilla 35/25 °C. Vastaavasti muuta myymälää palvelevan lattialämmityspiirin teho on 22 kW samoilla lämpötiloilla. /12; 13./

Lämpimän käyttöveden lämmitys on toteutettu kokonaan sähköllä. Rakennuksessa sijaitsee yhteensä kolme lämminvesivaraajaa, joilla lämpimän käyttöveden tarve täytetään. Lauhdelämmön talteenottojärjestelmään on liitetty myös nk. hätälauhdutuslämmönsiirrin, jolla kylmäkoneita voidaan lauhduttaa käyttövedellä, mikäli järjestelmään tulee jokin ongelma, eikä se pysty takamaan riittävää lauhdutusta. Hätälauhdutuksessa käytetty käyttövesi juoksetetaan sadevesiviemäriin. Kylmäkoneen kompressorien mitoituksellinen kylmäteho on pluspuolen kalusteille 202,5 kW ja pakkaskalusteille 34,7 kW. Tehoja vastaavat mitoituslämpötilat ovat -10/30 °C pluskalusteille ja -35/-10 °C pakkaskalusteille. Kuvassa 8 on esitetty pelkistetty periaatekaavio lämmitysjärjestelmästä. /13./



KUVA 8. S-market Villähteen lämmityksen kytkentäkaavio /13/

Taulukkoon 3 on tiivistetty S-market Villähteen tärkeimmät lähtötiedot.

TAULUKKO 3. S-market Villähteen lähtötiedot

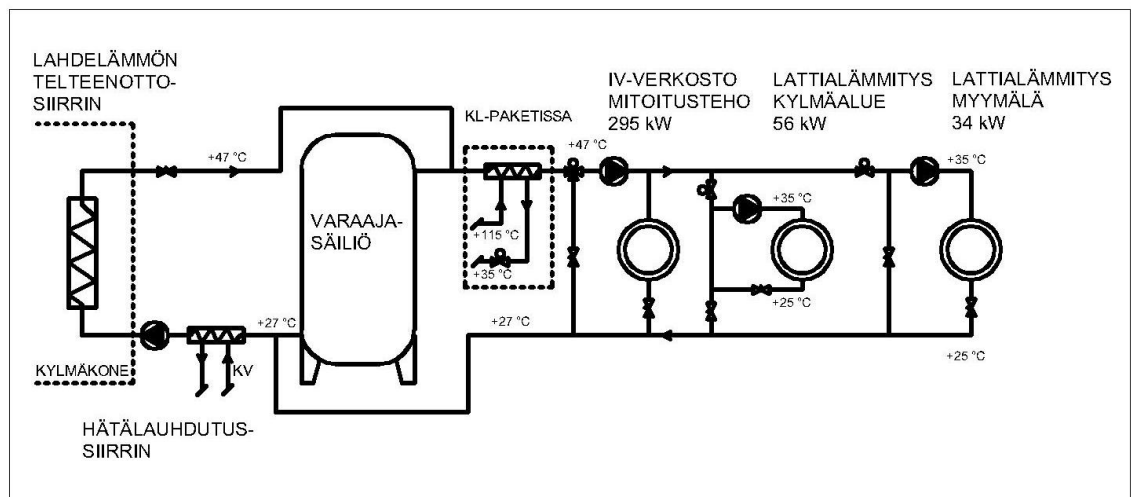
S-market Villähde	
Sijainti	Nastola
Kerrosala	2 026 m ²
Lämmitysmuoto	Sähkölämmitys
IV-verkoston teho	233 kW
Lattialämmitysverkoston teho, kylmäalue	42 kW
Lattialämmitysverkoston teho, muu myymälä	22 kW
Kylmäteho	
- Pluskalusteet	202,5 kW
- Pakkaskalusteet	34,7 kW

S-market Villähteen pohjapiirustus on liitteenä 3.

4.4 S-market Lammi

S-market Lammi sijaitsee Lammilla Hämeenlinnassa, ja se on avattu 26.4.2012. Rakennuksen kerrosala on 2 920 m², josta myymäläpinta-alaa on 1 775 m². Tilavuutta rakennuksella on 21 430 m³. Poikkeuksena S-market Villähteestä Lammilla on lisäksi 110 m² pinta-alaltaan oleva Alkon myymälä. Loput rakennuksen pinta-alasta on takatiloja, sosiaalitiloja, kylmiöitä ja teknisiä tiloja. S-markettien kokoluokassa myymälä edustaa suurempaa kokoluokkaa. Kohteessa on kolme IV-konetta, joista yksi palvelee myymälää ja sen takatiloja, toinen Alkon tiloja ja kolmas myymälän sosiaalitiloja. Rakennus on liitetty kaukolämpöön. Kuten S-market Villähteelläkin, myymäläosan lämmitys on toteutettu lattialämmityksellä ja muiden tilojen pattereilla. Näiden lisäksi tuulikaapeissa on oviverhopuhaltimet sekä lastaustiloissa ja varastoissa kierrätysilmakoneet. /14; 15./

Lämmitysjärjestelmä koostuu kolmesta erillisestä piiristä, joista yksi on ilmastointiverkosto ja kaksi muuta lattialämmitysverkostoja. Ilmastointiverkostoon on liitetty myös patterit ja oviverhokoneet. Verkoston mitoitus-teho on 295 kW lämpötiloilla 47/27 °C. Lattialämmityspiireistä toinen palvelee kylmäkalusteiden aluetta ja toinen muuta myymälää. Kylmäalueen mitoitus-teho on 56 kW ja muun myymälän 34 kW. Molempien lattialämmityspiirien mitoituslämpötilat ovat 35/25 °C. S-market Lammilla on myös jäähdytysjärjestelmä. Alkossa sekä sen vieressä sijaitsevissa toimistossa ja taukotilassa on split-jäähdytysyksiköillä toteutettu jäähdytys. Erillistä jäähdytysverkostoa ja vedenjäähdytyskonetta rakennuksessa ei siis kuitenkaan ole. Samalla tontilla on sijainnut aikaisemminkin S-market, mutta nykyään vanha myymälä on purettu pois uuden rakennuksen valmistuttua. Lammilla on samanlainen lauhdelämmön talteenottojärjestelmä kuin Villähteelläkin sillä erotuksella, että lisälämmitys tehdään kaukolämmöllä eikä sähköllä. Myös lämmin käyttövesi tuotetaan kaukolämmön avulla. Kylmäkoneen kompressorien mitoituskylmäteho on pluspuolen kalusteille 239 kW ja pakkaskalusteille 43 kW. Mitoituslämpötilat ovat vastaavat kuin S-market Villähteelläkin, eli -10/30 °C pluskalusteille ja -35/-10 °C pakkaskalusteille. Kuvassa 9 on esitetty pelkistetty periaatekaavio lämmitysjärjestelmästä. /15./



KUVA 9. S-market Lammilla lämmityksen kytkentäkaavio /15/

Taulukkoon 4 on tiivistetty S-market Lammin tärkeimmät lähtötiedot.

TAULUKKO 4. S-market Lammin lähtötiedot

S-market Lammi	
Sijainti	Lammi, Hämeenlinna
Kerrosala	2 920 m ²
Lämmitysmuoto	Kaukolämpö
IV-verkoston teho	295 kW
Lattialämmitysverkoston teho, kylmäalue	56 kW
Lattialämmitysverkoston teho, muu myymälä	34 kW
Kylmäteho	
- Pluskalusteet	239 kW
- Pakkaskalusteet	43 kW

S-market Lammin pohjapiirustus on liitteenä 4.

5 LASKENNALLISEEN VERTAILUUN TARVITTAVAT LÄHTÖTIEDOT

Tässä luvussa selostetaan luvussa 7 käsiteltävään lämmitysjärjestelmien kustannusvertailuun tarvittavat lähtötiedot. Lisäksi selostetaan, kuinka kohteiden vuosittainen energiankulutus on laskettu.

5.1 Energian kulutus

Tarkasteltavat kohteet on liitetty Haahtelan internetpohjaiseen järjestelmään. Haahtela on työkalu koko rakennuksen elinkaaren ajalle, sillä se toimii esimerkiksi rakennusaikana projektipankkina, jonne eri alojen suunnittelijat voivat jakaa omia suunnitelmiaan. Rakennuksen valmistuttua Haahtelaan voidaan laatia rakennukselle huoltokirja, ja lisäksi sinne voidaan ohjelmoida suoraan huoltosuunnitelma, jonka kalenteriin kirjaetaan ylös tarvittavat huoltokohteet. Näin huollosta vastaava henkilö pysyy koko ajan perillä, mitä huoltoja on tulossa ja mitkä huollot on äskettäin tehty. Lisäksi Haahtelan

palvelussa on paljon muitakin rakennuksen käyttöön ja huoltoon liittyviä toimintoja, mutta niitä ei hyödynnetty tämän työn tekemiseen, joten niitä ei tässä kohtaa esitellä tarkemmin. Tämän työn kannalta kiinnostavin Haahtelan ominaisuus on kuitenkin sen palveluun kirjautuvat anturien mittaustiedot rakennusautomaatiosta. Toisin sanoen rakennusten koko elinkaaren aikainen sähkön, veden ja lämpöenergian kulutus taltioituu palveluun, josta sitä voi tutkia haluamaltaan aikaväliltä. Lämpöenergian mittaukset ovat marketeissa sekä lauhdelämmön talteenoton latauspuolella, josta voidaan siis mitata suoraan lauhdelämmöstä saatava talteen otettu energia sekä vastaavasti varaa- ja säiliön toiselta puolelta pystytään mittaamaan lattialämmitysverkostoon menevä energia. Energiamittaus koostuu kahdesta lämpötila-anturista, joista toinen on menoputkessa ja toinen paluuputkessa, virtausmittarista ja pienestä keskusyksiköstä, joka laskee lämpötilaeron ja virtaaman perusteella kulutetun tai talteenotetun energian.

Haahtelan palveluun on eri marketeista tallentunut vähän eri tietoja. Toisin sanoen mittaukset on joka kohteessa järjestetty hivenen eri tavalla, mutta pääsääntöisesti tuloksia voidaan verrata keskenään melko hyvin. Sähkönkulutuksista kaikkein kiinnostavin tämän työn kannalta on marketin kylmäkeskuksen kuluttama sähköenergia, koska sen avulla voidaan laskea, kuinka paljon kulutetusta sähköstä saadaan hyödynnettyä lämmön talteenoton avulla marketin lämmityksessä. Kaikissa tarkasteltavissa kohteissa on oma erillinen alamittaus kylmäkeskuksen kuluttamalle sähkölle. S-marketista saatiin mittaustuloksia jo viime kesän ajalta, mutta Sale Jyrängössä mittaustuloksia alkoi tallentua vasta tammikuun loppupuolella, joten käytännössä Salen kohdalla tarkastelu jäi pelkästään helmikuun mittaiseksi. Muita yhteneviä mittaustuloksia kaikissa kohteissa ovat myymälän kuluttama sähköenergia, LVI-laitteiden kuluttama sähköenergia ja lisäksi sähkölämmitteissä kohteissa kattilan tai vastusten kuluttama sähköenergia. Mitattu myymälän sähkönkulutus koostuu pääasiassa valaistuksesta, ja se pysyy likimäärin vakiona eri vuodenaikoina. LVI-laitteiden kuluttama sähkö puolestaan koostuu enimmäkseen IV-koneen kuluttamasta sähköenergiasta, jonka kulutus myös pysyy lähes vakiona vuoden ympäri, koska minkään kohteen IV-koneessa ei ole sähköllä lämpeneviä lämmityspattereita.

Lämmitysenergian mittauksissa kohdattiin myös pieniä ongelmia, sillä ainoastaan S-market Lammilta saatiin lauhdelämmön talteenotosta tulevaa energiaa mitattua. S-market Villähteellä kyseistä mittaria ei Haahtelan palvelussa edes näkynyt, joten sitä ei mitä ilmeisimmin ole kytketty järjestelmään. Sale Jyrängössä vastaava mittari nä-

ky, mutta yhtään mittaustulosta ei ole palveluun tallentunut, joten näiden kohteiden lauhdelämmöstä talteenotettu energia on arvioitu S-market Lammin kulutusten avulla. Koska jokaisessa kohteessa on hyvin samanlaiset kylmäkoneistot, on arvioitu, että kylmäkoneeseen käytetystä sähköenergiasta saadaan n. 35 % palautettua myymälän lämmitysjärjestelmään talteenottojärjestelmän avulla. Prosenttimäärä on suoraan Lammin koko tammikuun lauhdelämmön talteenotosta saadun energian suhde kylmäkeskuksen käyttämään sähköenergiaan.

Rakennusten lämmitykseen tarvitsemaa energiamäärää on Lammilla ja Villähteellä tarkasteltu kahden kuukauden ajanjaksolta, tammikuun ja helmikuun. Jyrängössä puolestaan on tarkasteluun otettu vain helmikuu, koska mittaustuloksia on alkanut tallettua vasta tammikuulta, joten koko tammikuun kulutus ei ole tiedossa. Kulutukset on normitettu Lahteen normaalivuoden lämmitystarvelukujen avulla, jolloin saadaan sään vaikutus eliminoitua pois ja tuloksista tulee vertailukelpoisempia. Koska tulevaisuudessa kannattavuuslaskelmissa tarvitaan koko vuoden lämmitysenergiankulutus, jotta voidaan verrata eri järjestelmien takaisinmaksuaikoja, on rakennuksen koko vuoden kulutusta arvioitu normaalivuoden lämmitystarvelukujen avulla seuraavaa kaavaa (1) hyödyntäen.

$$Q_{kk} = \frac{LT_{tark,norm}}{LT_{verrattava,norm}} * Q_{verrattava} \quad (1)$$

jossa,

Q_{kk} = Tarkasteltavan kuukauden energiankulutus

$LT_{tark,norm}$ = Tarkasteltavan kuukauden normaalivuoden lämmitystarveluku

$LT_{verrattava,norm}$ = Verrattavan kuukauden normaalivuoden lämmitystarveluku

$Q_{verrattava}$ = Verrattavan kuukauden normeerattu lämmitysenergiankulutus

Esimerkiksi S-market Lammin tammikuun normeerattu kaukolämpöenergian kulutus on 58,9 MWh ja normaalivuoden tammikuun lämmitystarveluku Lahdessa on 737. Halutaan laskea lokakuun energiankulutus, joten tarvitaan lokakuun normaalivuoden lämmitystarveluku Lahdessa: 394. Näiden tietojen avulla voidaan kaavaa 1 hyödyntäen arvioida marketin lokakuussa kuluttamaa lämmitysenergiaa seuraavasti.

$$Q_{lokakuu} = \frac{394}{737} * 58,9 \text{ MWh} = 31,5 \text{ MWh}$$

Tätä laskukaavaa noudattaen joka kuukaudelle on laskettu laskennallinen lämmitysenergian kulutus, ja kun ne lasketaan yhteen, saadaan rakennuksen laskennallinen koko vuoden tarvitsema lämmitysenergia. Lammilla ja Villähteellä koko vuoden kulutus on laskettu sekä tammikuun että helmikuun mitattujen ja normeerattujen kulutusten mukaan. Näistä kahdesta tuloksesta on laskettu keskiarvo, jota käytetään jatkossa tehtävissä tarkasteluissa. Jyrängön vuoden lämmitysenergian tarve on laskettu ainoastaan helmikuun kulutuksen avulla, koska koko tammikuun kulutustietoja ei ollut saatavilla.

5.2 Energian hinnat

Laskennallisissa tarkasteluissa käytetyt kaukolämmön hinnat on saatu Energiateollisuus Ry:n internetsivuilta. Energiateollisuus Ry laatii tilastoja erilaisten tyyppirakennusten kaukolämmön hinnasta kaksi kertaa vuodessa 1.1 ja 1.7. Opinnäytetyössä käytetyt kaukolämmön hinnat on arvioitu näiden tietojen perusteella käyttäen 1.1.2013 päivitettyä tilastoa. Poikkeuksena on kuitenkin se, että työssä käytetyistä hinnoista on poistettu arvonlisäveron osuus. Tämä siitä syystä, että kaikki muutkin työssä käytetyt hinnat on ilmoitettu ilman arvonlisäveron osuutta. Tarkasteluja tehtäessä on oletettu, että kaukolämmön hinta on jokaisella kohteella sama. Todellisuudessa S-markettien kesken hinnassa ei luultavasi ole eroa, koska energiankulutus on hyvin samaa luokkaa. Salen vertailussa käytetty kaukolämmön hinta saattaa kuitenkin olla hieman matalampi kuin todellisuudessa, koska kaukolämpöenergian hinta halpenee suhteessa käyttömäärän. Tällä ei oleteta kuitenkaan olevan suurta merkitystä tarkasteluja tehtäessä. Energian hinnaksi valittiin 45 €/MWh alv 0 %./16./

Sähkön hinnat on saatu Energiamarkkinaviraston internetsivuilta, jossa ne ilmoitetaan myös erilaisten tyyppikäyttäjien mukaan jaoteltuna. Tilasto julkaistaan kerran kuukaudessa. Tilastojen luvut perustuvat julkisiin hinnastoihin, ja ne ovat koko maan painotettuja keskiarvoja. Kuten kaukolämmön hintakin, oletetaan sähkön hinnan olevan sama tarkasteltavasta rakennuksesta riippuen. Sähkön hinta on kokonaishinta eli se sisältää myös siirron osuuden. On huomioitavaa, että hinta voi poiketa eri verkkoyhtiöillä, mutta vertailun helpottamiseksi tässä työssä hinta on vakioitu kaikille samaksi. Valittu hinta on arvonlisäveroton, mutta se sisältää kuitenkin valmisteveron eli nk. sähköveron. Valittu hinta on 75 €/MWh, alv 0 %./17./

5.3 Liittymiskustannukset

Kaukolämmön liittymishinnasto määräytyy sopimusvesivirran mukaan ja luonnollisesti jokaisella energiayhtiöllä on oma hinnoittelumenetelmänsä. Tässä työssä on käytetty Helsingin Energian kaukolämmön liittymishinnastoa. Helsingin Energialla kaukolämmön liittymähinta koostuu kolmesta eri tekijästä: perusmaksusta, vesivirtamaksusta sekä johtomaksusta. Tarkasteluissa ei oteta huomioon johtomaksua, koska rakennusten etäisyys liitospaikasta vaikuttaa hivenen hintaan ja sen seurauksena voi muuttaa liittymiskustannusta jonkin verran. S-marketteja tutkittaessa liittymähinnan tarkastelussa on käytetty Helsingin Energian myymää Kaukolämpöliittymä 10 -pakettia, jossa sopimusvesivirta on välillä 2,01 – 10,0 m³/h. Tässä paketissa perusmaksu on 6 270 €, sekä vesivirtamaksu on 2 475 €/m³. Salen kohdalla on käytetty Helsingin Energian myymää Kaukolämpöliittymä 2 -pakettia, jossa sopimusvesivirta on välillä 0,01 – 2,0 m³/h. Paketissa perusmaksu on 2 200 € ja vesivirtamaksu 4 510 €/m³. Hinnat ovat arvonlisäverottomia. /18./

Molemmissa S-marketeissa sopimusvesivirta on oletettu samaksi samansuuruisen tehontarpeen vuoksi. Tehontarpeen kautta lasketun tilausvesivirran määräksi saatiin S-marketeille 4,4 m³/h ja Salelle 1,3 m³/h. Edellistä hinnastoa hyväksikäyttäen saadaan kaukolämpöliittymien hinnaksi S-marketeille n. 17 000 € ja Salelle n. 8 000 €. Hinnat eivät sisällä arvonlisäveroa eivätkä johtomaksua.

Sähköverkkoon liittymisen hinta määräytyy pääsääntöisesti rakennukseen asennettavan pääsulakkeen koon mukaan. Lisäksi myös rakennuksen sijainti vaikuttaa hintaan. Eli mikäli rakennus sijaitsee asemakaava-alueella, on hinta tällöin yleensä pienempi kuin silloin, jos rakennus sijaitsisi asemakaava-alueen ulkopuolella. Tarkasteluja tehtäessä on liittymismaksussa huomioitu vain se erotus, joka syntyy liittymän kasvaessa yhdellä sulakekoolla. Sähkölämmityksen on siis oletettu kasvattavan sulakekokoa juuri tämän verran. Tämä oletus johtuu siitä, että marketteihin on alkujaankin mitoitetu suhteellisen suuret pääkeskukset johtuen kylmälaitteiden suuresta sähkönkulutuksesta. Lisäksi kylmälaitteiden sähkökulutus on hetkittäistä, mikä luo piikkejä kulutukseen aiheuttaen tarvetta suuremmalle sulakkeelle. Marketteihin asennetaan usein tarpeeseen nähden liian suuri pääkeskus siitä syystä, että mahdolliseen tulevaan laajennukseen varaudutaan jo rakennusvaiheessa.

S-marketteja tutkittaessa pääsulakkeen koon on oletettu nousevan 3 x 400 A:sta 3 x 600 A:iin. Salen kohdalla vastaava koon muutos on 3 x 250 A:sta 3 x 400 A:iin. Kohteiden liittymismaksuja tarkasteltaessa on käytetty Lahti Energian voimassaolevia liittymishinnastoja /19/. Näitä hintoja käytettäessä on S-markettien liittymäkokoon muutoksesta koituva kustannus n. 7 500 € ja Salella 5 500 €. Hinnat ovat arvonlisäverottomia.

Maalämpöjärjestelmässä ei ole varsinaisia liittymiskustannuksia, mutta tarvittavien lämpökaivojen poraus on rinnastettu liittymiskustannukseksi. Vertailussa käytetyt kustannukset on hankittu olemassa olevista kohteista, joiden perusteella on laskettu arviot tässä työssä käytetyille kohteille tapauskohtaisesti. Lämpökaivojen kustannukset arvioitiin S-markettien kokoluokassa olevan 100 000 €. Hinta on kokonaishinta, joka siis sisältää kaikki kustannukset, joita kaivojen tekemisestä tulee. Salen kohdalla vastaava kustannus arvioitiin olevan 30 000 €.

5.4 Investointikustannukset

Vertailulaskennassa käytetyt kaukolämmön investointikustannukset syntyivät pelkästään lämmönjakokeskuksen hankinnasta ja asennuksesta. S-marketeissa lämmönjakokeskuksen hinnaksi on arvioitu 15 000 €. Saleen asennettavan lämmönjakokeskuksen kustannukseksi on puolestaan arvioitu 12 000 €. Hinnan oletetaan sisältävän varsinaisen lämmönjakokeskuksen sekä sen asennuksen käyttökuntoon. Hinta on arvioitu muiden jo toteutuneiden kohteiden investointikustannusten perusteella, joten todellisessa hinnassa voi olla tapauskohtaisia poikkeamia. Arvion oletettiin riittävän tähän tarkasteluun, mutta mikäli tarkempia laskelmia halutaan suorittaa, on keskuksen investointikustannus tarkistettava tapauskohtaisesti.

Sähköpuolella investointikustannus koostuu sähköpääkeskuksen suurentamisesta koituvista kuluista sekä sähkökattilan hankinta- ja asennuskustannuksista. Sähköpääkeskuksen suurentamisesta on oletettu koituvan kuluja 3 000 € kohteesta riippumatta. Oletus perustuu siihen, että suuremman keskuksen hinta on karkeasti tämän verran suurempi. Asennuskustannuksilla ei oleteta olevan merkitystä, koska rakennukseen joutuu asentamaan keskuksen joka tapauksessa. Sähkökattilan investointikustannuksen on arvioitu olevan S-marketeille 6 000 € asennuksineen. Saleen vastaava kustan-

nus on 4 000 € Hinnat ovat arvioita, ja ne perustuvat Oy Termocal Ab Termox:n vuonna 2007 julkaisemaan hinnastoon /20/. Valmistaja valittiin siitä syystä, että S-market Villähteellä on juuri kyseisen valmistajan sähkökattila. Tiettyjen kattilatyypin vertailu nykypäivän hintoihin paljastaa, ettei hinnoissa ole tapahtunut suurta muutosta, joten vanhaa hinnastoa voidaan käyttää arvioitaessa kattiloiden investointikustannuksia.

Maalämpöjärjestelmän investointikustannuksiksi luetaan varsinaiseen lämpöpumpun hankinta- ja asennuskustannukset. Hinnat on arvioitu olemassa olevien kohteiden perusteella. S-market kokoluokassa maalämpöpumpun investointikustannukseksi arvioitiin 30 000 €, joka sisältää tarvittavan pumpun, asennuksen ja käyttöönoton. Eli hinta on pumpun hankinnasta koituva kokonaiskustannus. Salessa vastaava investointikustannus arvioitiin olevan 10 000 €

5.5 Yhteenveto

Tähän lukuun on koottu kaukolämmön, sähkön ja maalämmön investoinnista ja käytämisestä koituvia kustannuksia. Taulukon arvoja on käytetty myöhemmin luvussa 7 tehtävässä takaisinmaksuaikojen vertailussa.

5.5.1 Kaukolämpö

Seuraavaan taulukkoon 5 on koottu kaikkien kohteiden energiamaksut sekä kaukolämpöön liittymisestä koituvat kustannukset

TAULUKKO 5. Yhteenveto kohteiden kaukolämpökustannuksista

	Sale Jyränkö	S-market Villähde	S-market Lammi
Lisälämmitystarve	63 MWh/a	317 MWh/a	365 MWh/a
Kaukolämmön hinta	45 €/MWh	45 €/MWh	45 €/MWh
Lämmityskustannukset	2 835 €/a	14 265 €/a	16 425 €/a
Liittymismaksu	8 000 €	17 000 €	17 000 €
Lämmönjakokeskus	12 000 €	15 000 €	15 000 €

Kaikki taulukon hinnat ovat vapaita arvonlisäverosta.

5.5.2 Sähkö

Seuraavaan taulukkoon 6 on koottu kohteiden lämmitykseen kuluvan sähkön kustannukset sekä investoinneista ja liittymästä koituvat kustannukset.

TAULUKKO 6. Yhteenveto kohteiden sähkökustannuksista

	Sale Jyränkö	S-market Villähde	S-market Lammi
Lisälämmitystarve	63 MWh/a	317 MWh/a	365 MWh/a
Sähkön hinta	75 €/MWh	75 €/MWh	75 €/MWh
Lämmityskustannukset	4 725 €/a	23 775 €/a	27 375 €/a
Liittymismaksu	5 500 €	7 500 €	7 500 €
Sähköpääkeskus	3 000 €	3 000 €	3 000 €
Sähkökattila	4 000 €	6 000 €	6 000 €

Kaikki taulukon hinnat ovat vapaita arvonlisäverosta.

5.5.3 Maalämpö

Seuraavaan taulukkoon 7 on koottu kohteiden maalämmöstä koituvat investointikustannukset sekä lämmityskustannukset. Maalämpöpumpun COP on oletettu olevan 3, joten sen seurauksena maalämpöpumpun tarvitsema sähköenergia on kolmasosa tarvittavasta lämmitysenergian tarpeesta.

TAULUKKO 7. Yhteenveto kohteiden maalämpökustannuksista

	Sale Jyrängö	S-market Villähde	S-market Lammi
Lisälämmitystarve	63 MWh/a	317 MWh/a	365 MWh/a
MLP sähkö	21 MWh/a	106 MWh/a	122 MWh/a
Sähkön hinta	75 €/MWh	75 €/MWh	75 €/MWh
Lämmityskustannukset	1 580 €/a	7 925 €/a	9 125 €/a
Porakaivot	30 000 €	100 000 €	100 000 €
Maalämpöpumppu	10 000 €	30 000 €	30 000 €

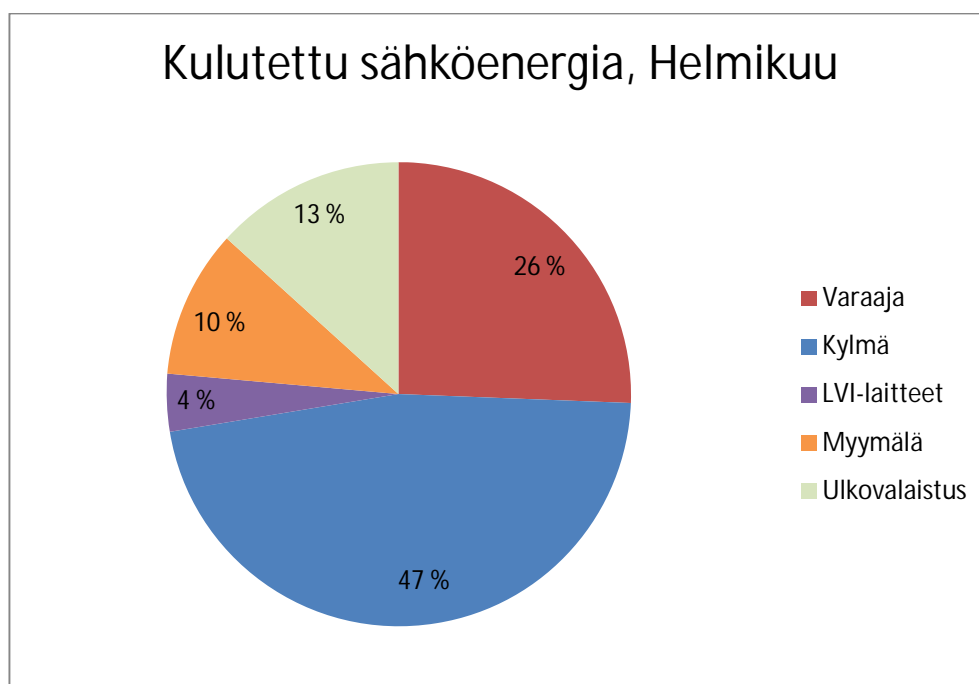
Hinnat ovat vapaita arvonlisäverosta.

6 MARKETTIEN MITATUT ENERGIANKULUTUKSET

Tässä luvussa tarkastellaan markettien kuluttamia sähkö- ja lämmitysenergioita. S-marketesta saatiin sähköenergian suhteen kulutustietoja viime kesältä eli näiden osalta voidaan tehdä tarkasteluja kulutusten muutoksista kesän ja talven välillä. Sale Jyrängön osalta tarkastelussa on vain helmikuu, koska rakennus valmistui vasta marraskuussa. Kiinnostavaa olisi ollut saada myös Salen osalta kesäkulutukset vertailtaviksi. Lämmitysenergian kulutusta tarkastellaan kaikissa kohteissa vain helmikuun mittaus-ten perusteella.

6.1 Sale Jyrängön kulutukset

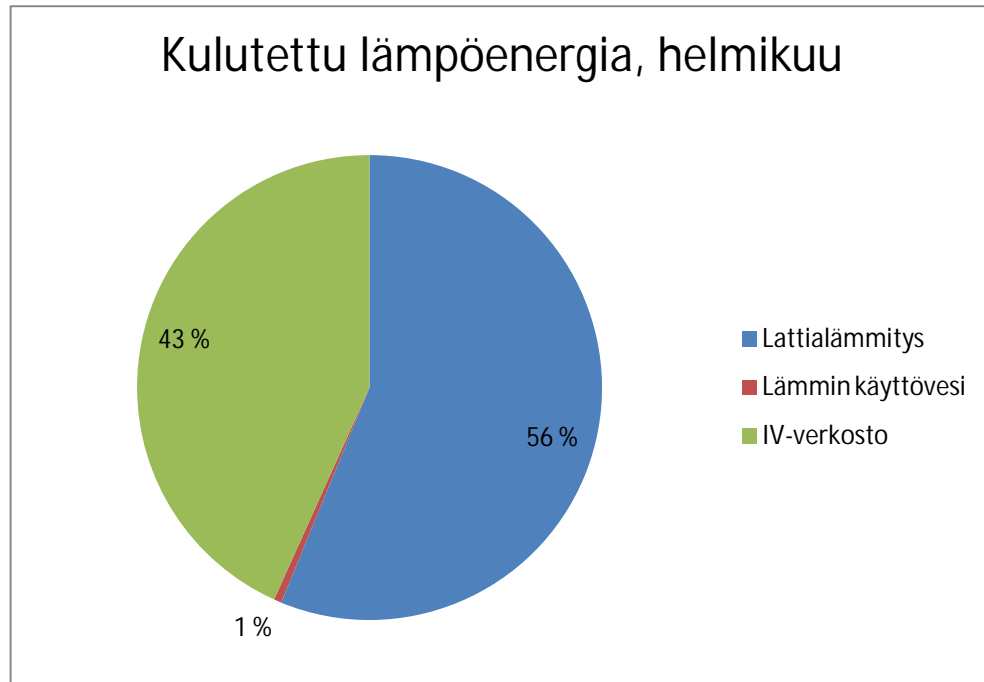
Seuraavassa kuvassa 10 on esitetty Sale Jyrängön sähköenergiankulutuksen jakautuminen eri mittauspisteiden mukaan helmikuussa.



KUVA 10. Sale Jyrängön helmikuun sähköenergian kulutusjakauma

Kuvasta 10 on nähtävissä, että kylmälaitteiden sähkönkulutus on lähes puolet koko marketin kuluttamasta sähköenergiasta helmikuussa. Tämän perusteella työssä tehtävissä vertailuissa on oletettu, ettei sähkölämmitykseen liittäminen kasvattaisi pääkeskuksen kokoa paljoakaan, sillä se on valmiiksi jo verrattain suuri johtuen juuri kylmälaitteiden suuresta sähkönkulutuksen osuudesta. Kylmälaitteet kuluttivat lähes 14 500 kWh helmikuussa. Se on vuosittaisessa tarkastelussa pienimpiä arvoja, joita tullaan mittaama, sillä kesällä kylmälaitteet kuluttavat selvästi enemmän sähköä kuin talvella. Kesällä on ennustettavaa, että varaajan osuus piirakasta hupenee lähes nolnaan, ja se siirtyy suoraan kylmälaitteiden kuluttaman sähkön osuuteen. Eli toisin sanoen kesällä kylmälaitteiden kuluttama energia edustaa n. 70 % marketin kokonais-sähkönkulutuksesta. LVI-laitteiden, myymälän sekä ulkovalaistuksen osuus pysynee lähes vakiona ympäri vuoden. Myymälän kulutukseen luetaan lähinnä valaistus. Kuvassa 10 esitetty osuus ulkovalaistus (13 %) on laskettu vähentämällä rakennuksen päämittauksesta kaikki muut mitatut sähkönkulutukset. Jällelle jäänyt osuus edustaa muuta rakennuksessa kuluvaa sähköenergiaa, jota ei monitoroida ja yksilöidä tarkemmin. Suurin osa tästä osuudesta koostuu rakennuksen ulkovalaistuksesta ja muista laitteiden kuluttamasta sähköenergiasta. Rakennuksen sähköenergiankulutukset olivat helmikuussa seuraavat: varaaja 7 900 kWh, kylmälaitteet 14 500 kWh, LVI-laitteet 1 200 kWh, myymälä 3 200 kWh, ulkovalaistus 4 100 kWh.

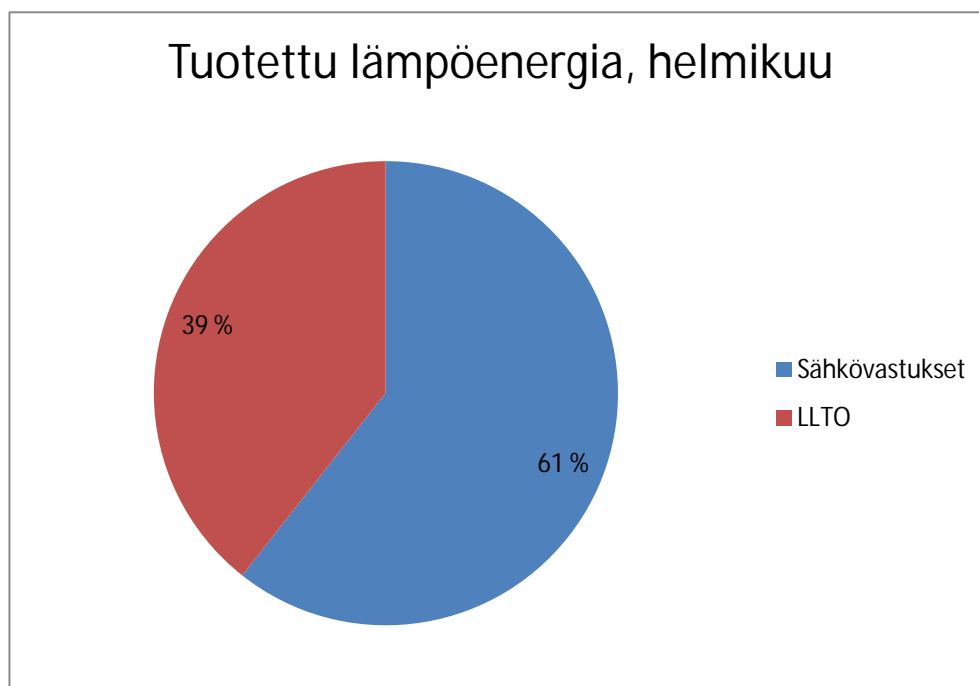
Seuraavassa kuvassa 11 on esitetty Sale Jyrängön lämpöenergian kulutuksen jakauma helmikuussa.



KUVA 11. Sale Jyrängön helmikuussa kulutetun lämpöenergian jakauma

Kuvassa 11 rakennuksen kuluttama lämmitysenergia on jaettu kulutuspisteiden mukaisiin osuuksiin. Huomiota herättävää on lämpimän käyttöveden lämmittämiseen tarvittava lämpöenergia, joka on murto-osa muuhun lämmitykseen tarvittavasta energiasta. Lämpimän käyttöveden lämmitysenergian tarve on laskettu Motivan laskuohjeen mukaisesti /21/. Kesää kohti mentäessä on oletettavissa, että verkostojen välinen painotus pysyy likimain samana. IV-verkostoon on liitetty myös rakennuksessa olevat oviverhokoneet sekä konvektorit, joiden tehon tarve putoaa myös ulkolämpötilan noustessa. Tämän lisäksi lattialämmitysverkostoa ei voi jättää kesälläkään täysin kylmäksi, sillä kylmälaitteiden kylmettävän vaikutuksen johdosta sinne on tuotava lämpöä myös kesällä, joten pysyy verkostojen osuudet oletettavasti melko samana. Rakennuksen lämpöenergian kulutukset helmikuussa olivat seuraavat: lattialämmitys 7 300 kWh, lämmin käyttövesi 70 kWh, IV-verkosto 5 600 kWh.

Seuraavassa kuvassa 12 on esitetty Sale Jyrängön lämmöntuotannon jakauma helmikuussa.



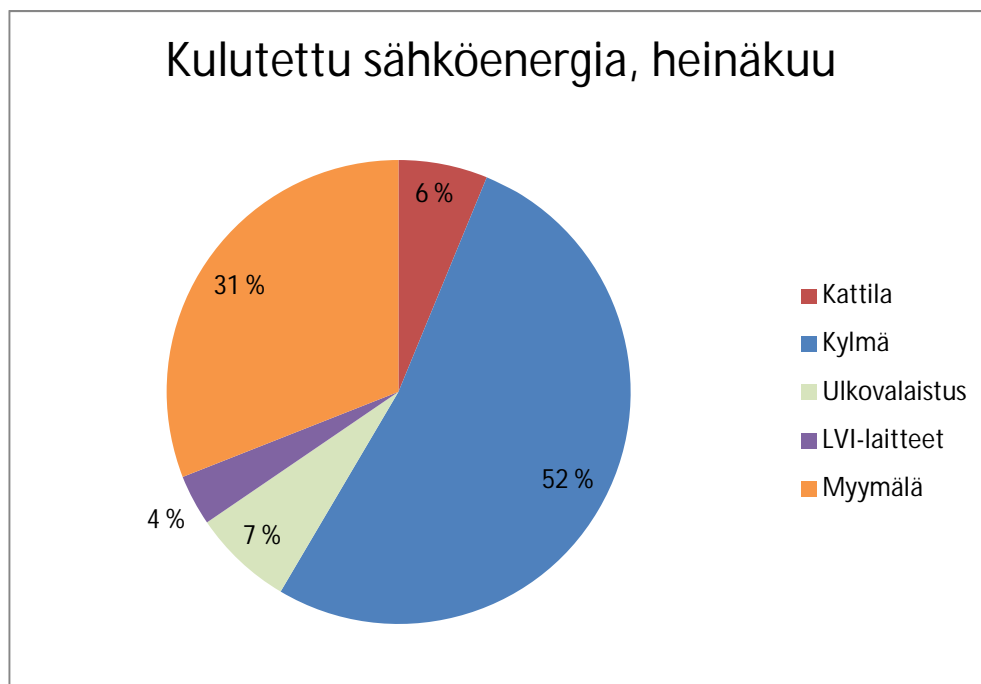
KUVA 12. Sale Jyrängön tuotetun lämpöenergian jakauma helmikuussa

Kuvasta 12 on nähtävissä jakauma, jolla lämpöenergiaa tuotettiin rakennukseen helmikuussa. Lauhdelämmön talteenotolla pystyttiin kattamaan n. 40 % rakennuksen tarvitsemasta lämpöenergian tarpeesta, mikä paljastaa, että lauhdelämmöstä tulevaa energiaa hyödynnetään rakennuksessa tehokkaasti. Osaltaan tähän vaikuttaa Jyrängössä oleva IV-koneen esilämmityspatteri, joka on kytketty latauspiirin paluupuolelle. Tämän johdosta lauhdelämmön talteenottosiirtimelle saadaan palaamaan viileämpää vettä, jonka seurauksena saatava teho nousee suuremmaksi. Rakennusautomaation etäseurantaa hyödyksi käyttäen havaittiin, että vielä -10 asteen ulkolämpötilassakaan IV-koneen varsinaiseen lämmityspatteriin ei tarvinnut ajaa ollenkaan lämmintä vettä. Tuloilman lämmitys toteutettiin pelkästään IV-koneen lämmön talteenottokiekkoa sekä esilämmityspatteria ja kiertoilmaa hyödyntäen. Järjestelmän säätö on myös toteutettu siten, että ensimmäisenä kierrätysilman määrää vähennetään, sen jälkeen lämmön talteenottokiekkon kierrosnopeutta pienennetään, ja vasta sen jälkeen esilämmityspatterin virtaamaa pudotetaan, mikäli tuloilman lämpötila uhkaa nousta yli asetusarvon. Tämä saa aikaan sen, että lauhdelämmön talteenotto toimii tehokkaammin, koska palaavan veden lämpötila saadaan laskettua alemmas.

Kuvassa 12 on esitetty helmikuun jakauma. Kesää kohti mentäessä lauhdelämmön talteenotto alkaa kasvattaa osuuttaan verrattuna sähkökattilaan päätyen siihen, että jossain vaiheessa touko-kesäkuusta sähkökattilaa ei tarvita ollenkaan. Oletettavaa on, että tammi-helmikuussa lauhdelämmöstä saatavan lämpöenergian osuus on pienimmillään. Helmikuussa sähkökattilalla tuotettiin rakennukseen 7 900 kWh lämpöenergiaa ja lauhdelämmön talteenotosta saatiin hyödynnettyä 5 100 kWh. Sähkön hinnan ollessa 75 €/MWh, saadaan helmikuussa lauhdelämmön talteenotosta säästöä sähkölaskuun n. 380 €

6.2 S-market Villähteen kulutukset

Seuraavassa kuvassa 13 on esitetty S-market Villähteen sähköenergiankulutuksen jakauma eri mittauspisteiden välillä heinäkuussa.

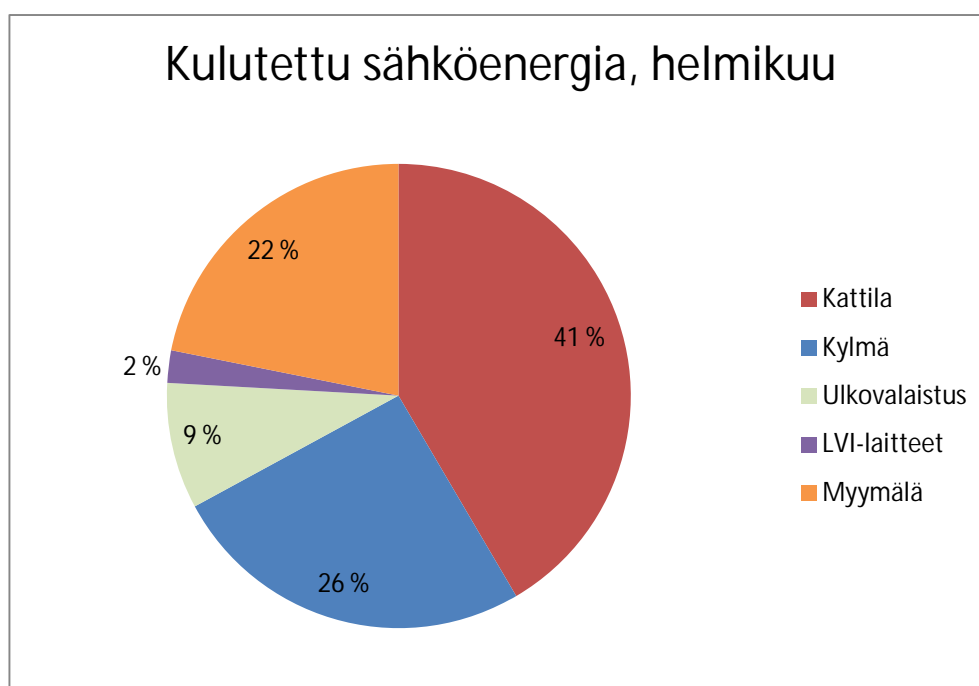


KUVA 13. S-market Villähteen sähköenergian kulutusjakauma heinäkuussa

Kuvasta 13 käy ilmi, että kesällä puolet rakennuksen kuluttamasta sähköenergiasta kuluu kylmälaitteiden viilentämiseen. Sähkökattilan osuus kuvaajasta on 6 % mikä voi johtua siitä, että rakennus oli valmistunut äskettäin, eikä tarvittavia säätöjä ollut vielä ehditty tehdä. Toinen vaihtoehto on se, että erilliset lämminvesivaraajat on liitetty tähän samaan mittaukseen, joka selittäisi pienen osuuden kuvasta. Oletettavaa kuitenkin on, että heinäkuussa kattilan osuus pitäisi olla nolla. LVI-laitteiden suhteellinen

osuus on hyvin samaa luokkaa kuin Sale Jyrängössäkin. Myymälän suhteellinen osuus on huomattavasti suurempi kuin Sale Jyrängössä. Tämä johtuu siitä, että isommassa rakennuksessa on enemmän valaistustarvetta sekä laitesähkön kulutusta. Ulkovalaistuksen osuudessa on lisänä myös ovien edustojen sulatukset sekä räystäskourujen sulatukset. Rakennuksen sähköenergiankulutukset olivat heinäkuussa seuraavat: kattila 4 100 kWh, kylmälaitteet 34 600 kWh, ulkovalaistus 4 600 kWh, LVI-laitteet 2 300 kWh, myymälä 25 500 kWh.

Kuvassa 14 on esitetty Villähteen vastaava sähköenergian kulutusjakauma helmikuussa.

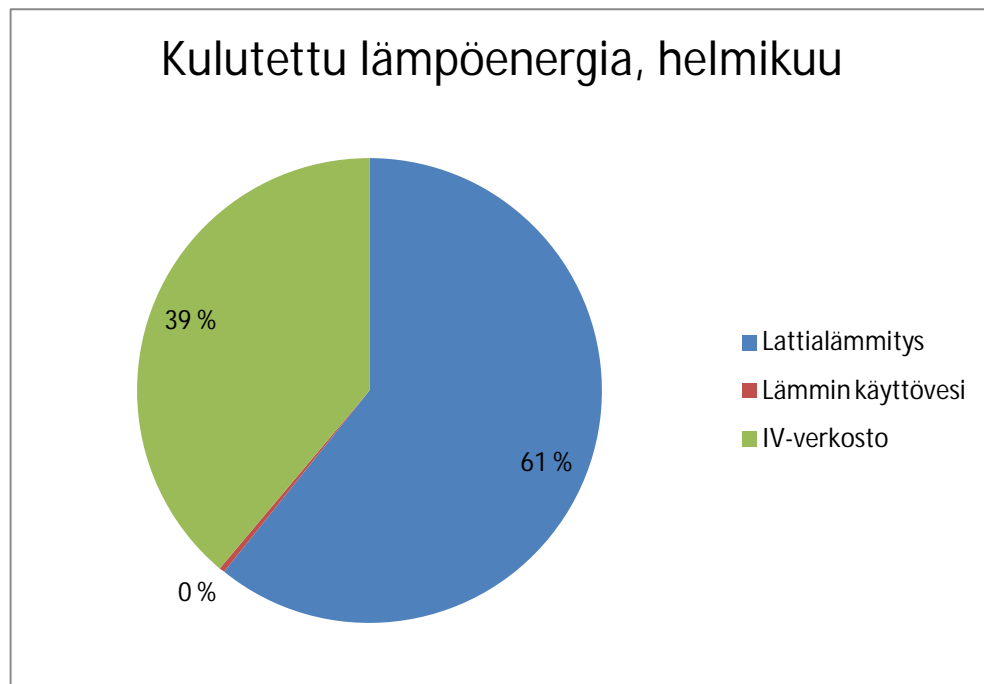


KUVA 14. S-market Villähteen sähköenergian kulutusjakauma helmikuussa

Kuvasta 14 on nähtävissä, että kylmälaitteiden sähkönkulutuksen osuus on pudonnut puoleen vastaavasta heinäkuun osuudesta. Sähkökattila kuluttaa nyt selvästi suurimman osuuden rakennuksen sähköenergiasta. Kolme muuta osuutta, ulkovalaistus, LVI-laitteet ja myymälä, ovat pysyneet lähes vakiona heinäkuun vastaavista arvoista. Rakennuksen sähköenergiankulutuksen olivat helmikuussa seuraavat: kattila 42 400 kWh, kylmälaitteet 26 100 kWh, ulkovalaistus 9 000 kWh, LVI-laitteet 2 300 kWh, myymälä 22 300 kWh. Kulutuslukemista voidaan päätellä, että kylmälaitteet kuluttavat n. 25 % vähemmän sähköenergiaa helmikuussa verrattuna heinäkuuhun. Sähkökattilan kulutus puolestaan oli kymmenkertainen heinäkuuhun verrattuna, mikä on täysin

ymmärrettävä asia. LVI-laitteiden kulutus pysyi täysin samana, joten niiden kuluttamaan sähköenergian määrään ei käyttäjällä tai vuodenajalla ole vaikutusta. Myymälän kuluttama sähköenergia pysyi myös melkein samana kesän lukemista. Yleisesti kuluksia tutkittaessa ei törmätty mihinkään selittämättömyyksiin. Kulutusten suhteelliset muutokset ovat täysin normaaleja vuodenaajan mukaan tapahtuvia vaihteluita.

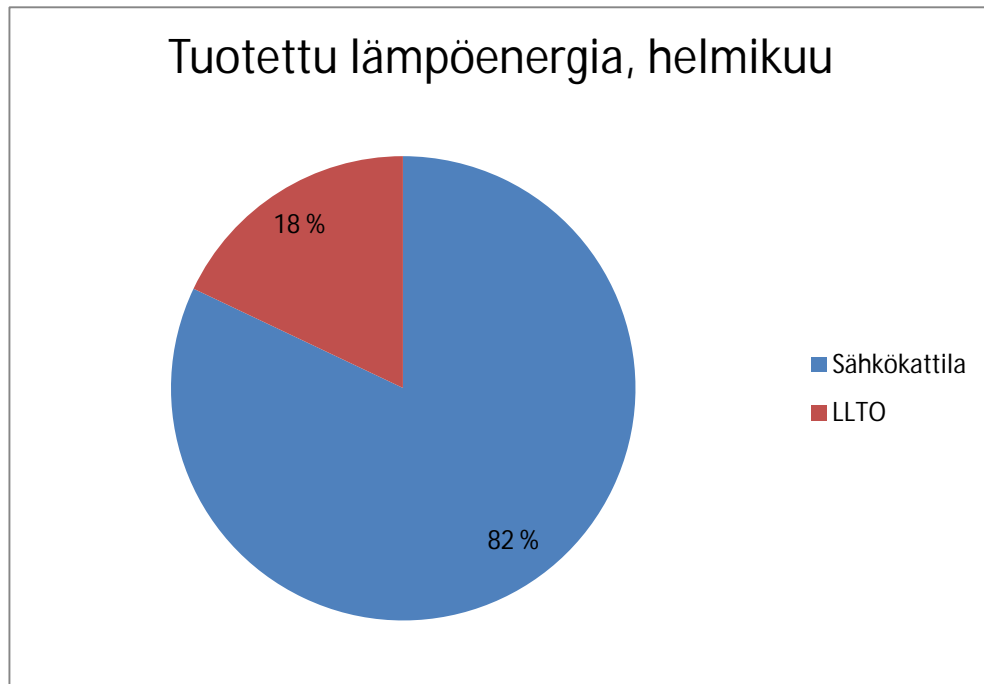
Kuvassa 15 on esitetty S-market Villähteen lämpöenergian kulutusjakauma helmikuussa.



KUVA 15. S-market Villähteen lämpöenergian kulutusjakauma helmikuussa

Kuvasta 15 on nähtävissä, että lämpöenergian kulutuksen jakauma on hyvin samanlainen kuin kuvassa 11 esitetty Sale Jyrängön vastaava jakauma. Lattialämmityksen osuus on hivenen suurempi, joka voi johtua siitä, että lämmitettävää lattia-alaa on enemmän. Lämpimän käyttöveden lämmittämiseen kuluva energia on minimaalinen verrattuna muihin kulutuspisteisiin. Rakennuksen lämpöenergiankulutukset helmikuussa olivat seuraavat: lattialämmitys 31 400 kWh, lämmin käyttövesi 200 kWh, IV-verkosto 20 100 kWh.

Seuraavassa kuvassa 16 on esitetty rakennukseen tuotetun lämpöenergian jakautuminen.

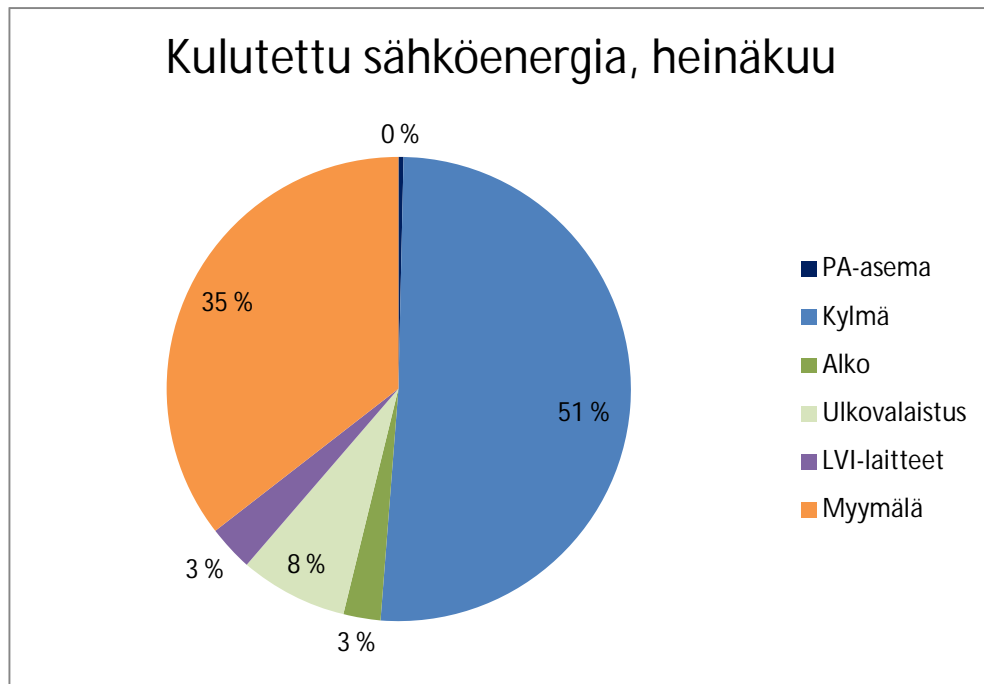


KUVA 16. S-market Villähteen tuotetun lämpöenergian jakauma helmikuussa

Kuvasta 16 on nähtävissä, että lauhdelämmön talteenotosta hyödyksi saatavan lämmitysenergian määrä on huomattavasti pienempi verrattuna kuvassa 12 esitetyn Sale Jyrängön vastaavaan määrään. Tämä johtuu epäilemättä siitä, että Villähteellä ei ole Jyrängön tapaan IV-koneen esilämmityspatteria jäähdyttämässä lauhdelämmön talteenottoon palaavaa nestettä. Tämän seurauksena talteenotosta ei saada niin paljon tehoa kuin olisi mahdollista. Lisäksi S-market Villähde on huomattavasti suurempi myymälä kuin Sale Jyrängö, joka vaikuttaa myös jakaumaan. Salessa on suhteessa myymälän pinta-alaan enemmän kylmälaitteita kuin S-marketissa, joten tästä johtuen muita lämmitysjärjestelmiä tarvitaan enemmän kattamaan tarvittava lämmitysenergian tarve. Helmikuussa sähkövastuksilla tuotettu lämpöenergian määrä oli 42 400 kWh, ja lauhdelämmön talteenotosta saatiin hyödynnettyä 9 300 kWh. Sähkön hinnan ollessa 75 €/MWh saadaan lauhdelämmön talteenotosta säästöä sähkölaskuun n. 700 € helmikuussa.

6.3 S-market Lammin kulutukset

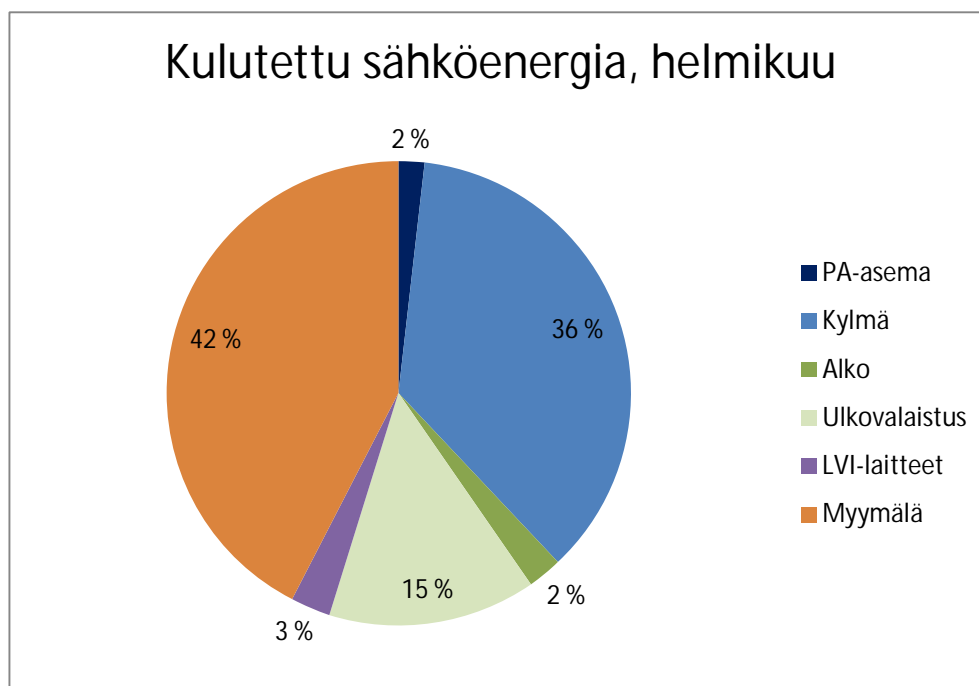
Seuraavassa kuvassa 17 on esitetty rakennuksen sähköenergian kulutusjakauma heinäkuussa.



KUVA 17. S-market Lammin sähkönkulutuksen jakauma heinäkuussa

Kuten kuvasta 17 käy ilmi, on S-market Lammillakin kylmälaitteiden kuluttama sähköenergia suuressa osassa heinäkuun kulutuksia tarkasteltaessa. Lisänä Villähteeseen, Lammilla on mittaus myös Alkon myymälälle sekä pihassa olevalle polttoaineen tankkausasteelle. Sähkölämmityksen osuutta ei kuvasta löydy, koska rakennus lämpee kaukolämmöllä. Muutoin kuva 17 vastaa lähes täydellisesti kuvaa 13, joka esittää S-market Villähteen heinäkuun jakaumaa, poikkeuksena kuitenkin suuri myymälän kuluttaman sähköenergian osuus. Tämä johtuu siitä, että Lammilla on paistopiste ja sen uunien kulutus näkyy myymälän osuudessa. S-market Lammin heinäkuussa kuluttama sähköenergia eri mittauspisteillä on seuraava: PA-asema 300 kWh, kylmälaitteet 42 900 kWh, Alko 2 200 kWh, ulkovaistus 6 300 kWh, LVI-laitteet 2 700 kWh, myymälä 30 000 kWh.

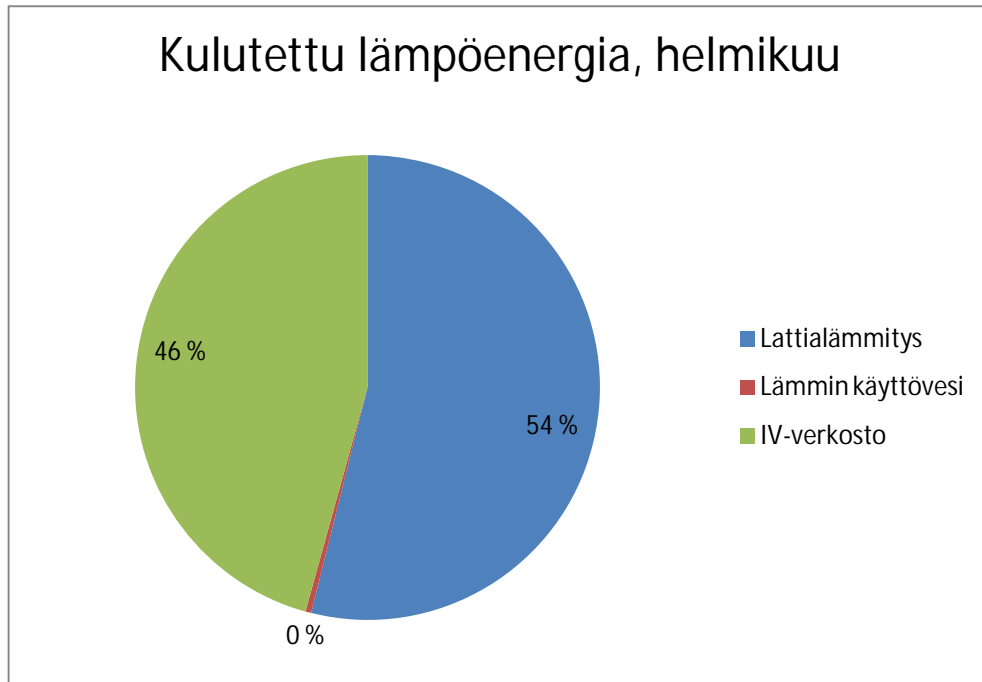
Seuraavassa kuvassa 18 on esitetty rakennuksen sähköenergian kulutusjakauma helmikuussa.



KUVA 18. S-market Lammin sähkön kulutusjakauma helmikuussa

Kuvasta 18 on nähtävissä samanlainen ilmiö kuin Villähteelläkin eli kylmälaitteiden energiankulutus putoaa jonkin verran kesän arvoista. Ulkovalaistuksen kuluttaman sähköenergian määrä kasvaa hivenen johtuen talvella tarvittavasta valaistuksesta. Polttoaineaseman kulutus nelinkertaistuu, joka johtuu myös talvella tarvittavasta valaistuksesta mittarikentällä. Myymälän osuus kulutuksesta pysyy lähes samana verrattuna heinäkuuhun, mutta sen prosenttiosuus koko kulutuksesta kasvaa johtuen kylmälaitteiden kuluttaman sähköenergian määrän pienentymisestä. LVI-laitteiden ja Alkon käyttämät sähköenergiat pysyvät myös lähestulkoon samoina heinäkuusta. Rakennuksen helmikuussa kuluttamat sähköenergiat olivat seuraavat: PA-asema 1 300 kWh, kylmälaitteet 26 300 kWh, Alko 1 700 kWh, ulkovalaistus 10 500 kWh, LVI-laitteet 2 000 kWh, myymälä 30 800 kWh.

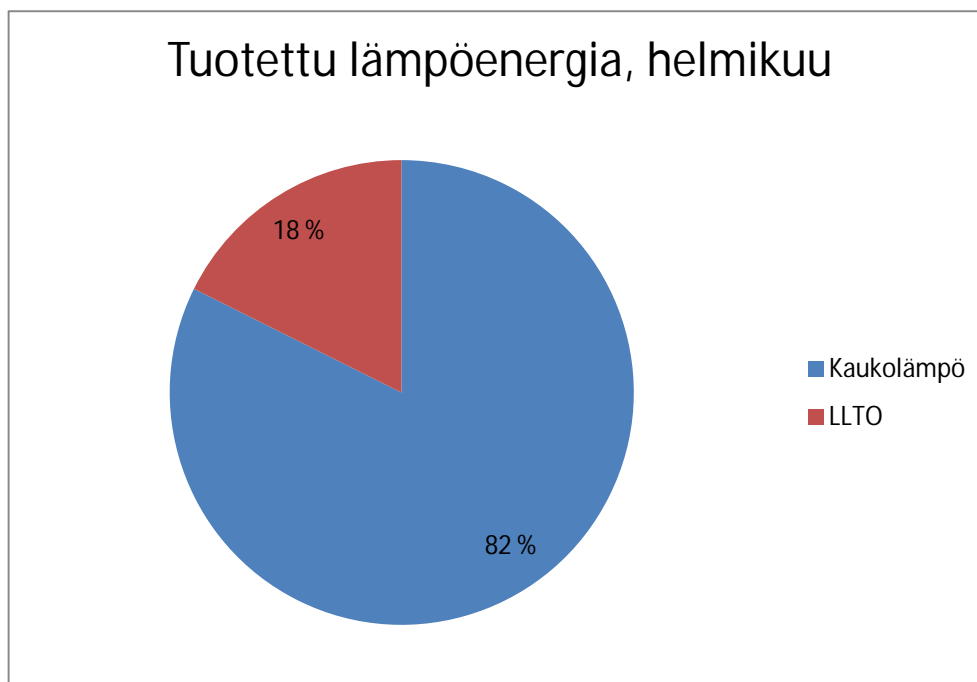
Seuraavassa kuvassa 19 on esitetty rakennuksen lämmitysenergian kulutusjakauma.



KUVA 19. S-market Lammin lämpöenergian kulutusjakauma helmikuussa

Kuvassa 19 toistuu sama kaava kuin kuvissa 11 ja 15. Hiukan yli puolet rakennuksen kuluttamasta lämpöenergiasta kuluu lattialämmitykseen ja toisaalta vähän alle puolet IV-verkostoon. Lämpimän käyttöveden lämmittämiseen kuluva energia on jälleen murto-osa muista. Mielenkiintoista kuvassa 19 on kuitenkin se, että sen jakauma on lähempänä Sale Jyränköä kuin S-market Villähdettä. Etukäteisoletuksena olisi voinut pitää, että Lammilla lattialämmityksen osuus olisi ollut vieläkin suurempi kuin Villähteellä johtuen suuremmasta myymäläpinta-alasta. Toisaalta rakennuksessa on kolme IV-konetta Villähteen kahden sijaan, joten tämä osaltaan selittää IV-verkoston suurempaa osuutta kuvassa. Rakennuksen lämpöenergiankulutukset olivat helmikuussa seuraavat: lattialämmitys 30 300 kWh, lämmin käyttövesi 200 kWh, IV-verkosto 25 700 kWh.

Seuraavassa kuvassa 20 on esitetty rakennukseen tuotetun lämpöenergian jakauma.



KUVA 20. S-market Lammin tuotetun lämpöenergian jakauma helmikuussa

Kuvasta 20 ilmenee, että jakauma on samanlainen kuin S-market Villähteellä. Tästä voidaan päätellä, että lauhdelämmön talteenotolla saadaan tuotettua noin viidesosa rakennuksen helmikuussa tarvitsevasta lämpöenergiasta S-markettien kokoluokassa. Sääntö ei tietenkään ole yleispätevä, sillä lämmitysjärjestelmän kytkentä vaikuttaa suuresti asiaan. Tarkastelussa olleet kaksi S-markettia olivat hyvin samanlaisia lämmitysjärjestelmiltään. Ainoana erona markettien välillä oli eroavaisuus pinta-alassa, sillä Lammilla on pinta-alaa vajaat 1 000 m² enemmän verrattuna Villähteeseen. Lammilla helmikuussa kaukolämmöllä tuotettiin 46 300 kWh lämpöenergiaa ja lauhdelämmön talteenotosta saatiin hyödynnettäväksi 9 900 kWh. Kaukolämmön hinnan ollessa 45 €/MWh saadaan helmikuussa lauhdelämmön talteenotolla säästettyä n. 450 €

6.4 Rakennusten vertailu

Seuraavaan taulukkoon 8 on koottu rakennuksen pinta-ala- ja tilavuusperusteiset lisälämmityksen tarpeet. Näiden arvojen avulla rakennusten vertailu on helpompaa.

TAULUKKO 8. Rakennusten lisälämmitystarpeen vertailu

	Sale Jyräkö	S-market Villähde	S-market Lammi
Lisälämmitystarve	63 MWh/a	317 MWh/a	365 MWh/a
Pinta-ala	790 m ²	2 026 m ²	2 920 m ²
Tilavuus	4 300 m ³	12 610 m ³	21 430 m ³
Lisälämmitys /m²	80 kWh/m ² ,a	157 kWh/m ² ,a	125 kWh/m ² ,a
Lisälämmitys /m³	15 kWh/m ³ ,a	25 kWh/m ³ ,a	17 kWh/m ³ ,a

Taulukkoon 8 lasketut pinta-ala- ja tilavuusperusteiset lisälämmitystarpeet on pyöristetty lähimpään kokonaislukuun. Luvut kuvastavat koko vuoden tarvittavaa lisälämmitystä. Sale Jyrängön ominaiskulutus poikkeaa S-marketeista melkoisesti ja suurimpana syynä tähän lienee IV-koneessa sijaitseva esilämmityspatteri, jolla saadaan hyödynnettyä loputkin lauhdelämmön talteenotosta saatavasta lämpöenergiasta tehokkaasti.

7 LÄMMITYSJÄRJESTELMIEN KUSTANNUSVERTAILU

Tässä luvussa tarkastellaan markettien lämmitysjärjestelmän valintaa. Tarkasteltaviksi lämmitysjärjestelmiksi valittiin kaukolämpö, sähkölämmitys ja maalämpö. Nämä järjestelmät valittiin sen takia, että usein ne ovat yleisimmät lämmitysjärjestelmät. Lisäksi tähän asti valmistuneissa hiilidioksidia kylmäaineena käyttävissä marketeissa on käytetty pääosin sähkölämmitystä tai kaukolämpöä, joten maalämmön kannattavuus-tarkastelu oli sen puolesta kiintoisa tehdä.

7.1 Sale Jyräkö

Sale Jyräkö poikkeaa monelta osalta muista tarkasteltavista kohteista osaltaan siitä syystä, että se on vertailujoukon pienin rakennus, mutta toisaalta taas sen takia, että sen lämmitysjärjestelmän kytkentä poikkeaa hivenen S-markettien vastaavista. Sale Jyrängössä on lauhdelämmön talteenottopiirin paluupuolelle kytketty IV-koneen esilämmityspatteria lämmittävä piiri, jolla talteenotolle palaavaa veden lämpötilaa saadaan pudotettua muita kohteita alemmas. Tämän seurauksena talteenotosta saadaan

enemmän tehoa irti. Seuraavaan taulukkoon 9 on koottu Sale Jyrängön lämmitysjärjestelmien kustannukset, ja niiden pohjalta on laskettu takaisinmaksuaika kaukolämpöjärjestelmälle sekä maalämpöjärjestelmälle. Maalämmössä on lämmitysenergiaksi luettu vain maalämpöpumpun tarvitsema sähköenergia. Pumpun COP on oletettu olevan 3.

TAULUKKO 9. Sale Jyrängön lämmitysjärjestelmien vertailu

	KAUKOLÄMPÖ	SÄHKÖ	MAALÄMPÖ
Lämmitysenergia	63,2 MWh/a	63,2 MWh/a	21 MWh/a
Energian hinta	45 €/MWh	75 €/MWh	75 €/MWh
Liittymismaksu/porakaivo	8 000 €	5 500 €	30 000 €
Lämmönjakokeskuksen-/ sähköpääkeskuksen- / maalämpöpumpun hinta	12 000 €	3 000 €	10 000 €
Sähkökattilan hinta		4 000 €	
Investointikustannus	20 000 €	12 500 €	40 000 €
Energiamaksu	2 844 €/a	4 740 €/a	1 580 €/a
Takaisinmaksuaika verrattuna sähköön	4,0 vuotta		8,7 vuotta
Takaisinmaksuaika verrattuna kaukolämpöön			15,8 vuotta

Taulukossa 9 on takaisinmaksuaika lasketettu jakamalla investointikustannuksien erotus energiamaksujen erotuksella. Kaukolämpöjärjestelmä maksaa itsensä takaisin verrattain nopeasti sähköön verrattuna. Maalämpöjärjestelmän takaisinmaksuajat ovat pidemmät kuin kaukolämmöllä. Sähkölämmitykseen verrattuna maalämpöjärjestelmä lienee kannattava investointi.

7.2 S-market Villähde

S-market Villähde on hyvä esimerkki keskimääräisestä S-marketista: sen pinta-ala on hivenen yli 2 000 m², eikä siellä ole ylimääräisiä pienmyymälöitä. Tämän takia Villähde-kuuden kulutusarvoja sekä -jakaumia voidaan tulevaisuudessa pienin varauksin käyttää eräänlaisina tyyppikulutuksina. Tokihan rakennuksen kuluttamaan energiaan vai-

kuttavat monet tekijät, mutta karkeita arvioita tehtäessä kulutukset pitävät varmasti tarpeeksi hyvin paikkansa. Seuraavaan taulukkoon 10 on koottu S-market Villähteen lämmitysjärjestelmien kustannukset sekä niiden perusteella laskettu takaisinmaksuaika kaukolämpöjärjestelmälle sekä maalämpöjärjestelmälle. Kuten edellä, on maalämmölle huomioitu vain maalämpöpumpun kuluttama sähköenergian määrä.

TAULUKKO 10. S-market Villähteen lämmitysjärjestelmien vertailu

	KAUKOLÄMPÖ	SÄHKÖ	MAALÄMPÖ
Lämmitysenergia	317 MWh/a	317 MWh/a	106 MWh/a
Energian hinta	45 €/MWh	75 €/MWh	75 €/MWh
Liittymismaksu/porakaivo	17 000 €	7 500 €	100 000 €
Lämmönjakokeskuksen-/ sähköpääkeskuksen- / maalämpöpumpun hinta	15 000 €	3 000 €	30 000 €
Sähkökattilan hinta		6 000 €	
Investointikustannus	32 000 €	16 500 €	130 000 €
Energiamaksu	14 265 €/a	23 775 €/a	7 925 €/a
Takaisinmaksuaika verrattuna sähköön	1,6 vuotta		7,2 vuotta
Takaisinmaksuaika verrattuna kaukolämpöön			15,5 vuotta

Taulukoon 10 kaukolämmön ja maalämmön takaisinmaksuaika on laskettu samalla tavalla kuin Sale Jyrängössäkin. Huomattavaa on, että takaisinmaksuaika kaukolämpöjärjestelmälle on pienentynyt selvästi Saleen verrattuna. Tämä johtuu pääosin siitä, että lämmitykseen kuluu enemmän energiaa, joten sähkön korkean hinnan vuoksi säästää kaukolämmön ja maalämmön hyväksi syntyy vuosittain reilusti enemmän kuin pienemmässä Salessa. Maalämmön takaisinmaksuaika on samaa luokkaa kuin Salessa. Tämä johtuu huomattavasti suuremmista investointikustannuksista, joita suurempaan markettiin tarvitaan.

7.3 S-market Lammi

S-market Lammi poikkeaa muista rakennuksista lämmitysmuodollaan, se käyttää kaukolämpöä. Toisaalta S-market Lammi on muita rakennuksia jonkin verran suurempi, ja lisäksi samassa rakennuksessa sijaitsee erillinen Alkon myymälä. S-market Lammi oli hyvä lisäys vertailuun muista rakennuksista poikkeavan koon ja lämmitysjärjestelmän puolesta, jolloin vertailuun saadaan erityyppisiä rakennuksia. Toisaalta hivenen pienenpään S-market Villähteeseen verrattuna suuria eroja ei saatu johtuen rakennusten melko samasta vuosittaisesta energiankulutuksesta sekä samanlaisista investointikustannuksista. Seuraavaan taulukkoon 11 on koottu S-market Lammin lämmitysjärjestelmien kustannukset sekä niiden perustella laskettu takaisinmaksuaika kaukolämpö- sekä maalämpöjärjestelmälle.

TAULUKKO 11. S-market Lammin lämmitysjärjestelmien vertailu

	KAUKOLÄMPÖ	SÄHKÖ	MAALÄMPÖ
Lämmitysenergia	365 MWh/a	365 MWh/a	122 MWh/a
Energian hinta	45 €/MWh	75 €/MWh	75 €/MWh
Liittymismaksu/porakaivo	17 000 €	7 500 €	100 000 €
Lämmönjakokeskuksen-/ sähköpääkeskuksen- / maalämpöpumpun hinta	15 000 €	3 000 €	30 000 €
Sähkökattilan hinta		6 000 €	
Investointikustannus	32 000 €	16 500 €	130 000 €
Energiamaksu	16 425 €/a	27 375 €/a	9 125 €/a
Takaisinmaksuaika verrattuna sähköön	1,4 vuotta		6,2 vuotta
Takaisinmaksuaika verrattuna kaukolämpöön			13,4 vuotta

Kuten taulukosta 11 käy ilmi, S-market Lammin kaukolämpöjärjestelmälle laskettu takaisinmaksuaika on hyvin samaa luokkaa kuin pienemmällä S-market Villähteellä-

kin. Suurta eroa ei synny myöskään maalämpöjärjestelmää verrattaessa. Ero johtuu ainoastaan Lammin suuremmasta lämmitysenergian kulutuksesta, koska kaikki muut kustannukset ovat samat. Todellisuudessa S-market Lammin investointikustannukset voivat olla hivenen suuremmat kuin S-market Villähteen, mutta sillä ei ole kuitenkaan kovin merkittävää vaikutusta takaisinmaksuaikaan.

8 JOHTOPÄÄTÖKSET

Taulukoissa 9 – 11 on kiteytetty tutkimuksen tulos, joka on hyvin selkeä. Kaukolämmitys on kannattavin tapa lämmittää markettirakennusta, mikäli kaukolämpöä on saatavilla. Maalämpö on seuraava vaihtoehto, mutta on huomioitava, että tässä tutkimuksessa tehdyissä tarkasteluissa on oletettu, että maalämpöpumppu kattaa marketin koko lämmitysenergian tarpeen. Tämä ei todellisuudessa ole kuitenkaan kannattavaa, sillä lämpöpumppu toimii melko huonolla hyötysuhteella täydelle teholle mitoitettuna. Järkevintä olisikin mitoittaa lämpöpumppu tietylle osateholle, ja kattaa ylijäävä tehontarve jollain muulla lämmitysmuodolla. Tähän saakka rakennuttajat eivät ole paljon suosineet maalämpöjärjestelmiä marketeissa, sillä kytkennät alkavat mennä hiukan monimutkaisiksi ja sen takia järjestelmän säätäminen ja tehokkaan toiminnan takaaminen on hankalaa. Tarkastelussa sähkölämmitys ei vaikuta kustannustehokkaalta lämmitysvaihtoehdolta, mutta sen valintaa puoltavat halvemmat investointikustannukset. Tarkasteltaessa energiamuotojen kertoimia, joita käytetään etenkin E-luvun laskennassa, huomataan että sähkön käyttämistä lämmityksessä ei suositella myöskään lainsäätäjien puolelta. Sähkön kerroin on 1,7 ja kaukolämmön puolestaan 0,7. Tämä on osaltaan suuri etu kaukolämpöjärjestelmälle.

On syytä muistaa, että tulos on tämänhetkinen ja nykyisillä määräyksillä, ohjeilla ja hinnoilla saavutettu. Tulevaisuudessa energiamääräysten yhä tiukentuessa todennäköisesti myös vaihtoehtoisia lämmitysmuotoja aletaan harkita nykyistä vakavammin. Tämän oletetaan lisäävän etenkin uusiutuvien energiamuotojen käyttämistä myös markettikohteissa. Energian hinnan kehitys sanelee tietysti myös omalta osaltaan tulevan kehityksen suunnan, ja oletettavaa onkin, että sähköenergian ja kaukolämpöenergian hinnan suhde on yksi ratkaiseva tekijä valittaessa lämmitysjärjestelmää marketteihin tulevaisuudessa. Mikäli hintaero kaventuu, on siitä selvästi etua sähköä käyttäville lämmitysjärjestelmille.

Tutkimuksessa perehdyttiin myös markettien sähkö- sekä lämmitysenergioiden kuluihin. Mielenkiintoisimpana esille nousseena tuloksena pidettäköön sitä, että Sale Jyrängössä helmikuun pakkasilla n. 40 % rakennuksen tarvitsemasta lämmitysenergian tarpeesta pystyttiin tuottamaan lauhdelämmön talteenotolla. Tämä on merkittävä seikka kun ajattelee, että lauhdelämmöllä tuotettu osuus on oletettavasti pienimmillään juuri helmikuussa, kun kylmäkoneistot eivät tarvitse niin suurta määrää sähköenergiaa tuotteiden viilentämiseen. Kesää kohti mentäessä lauhdelämmöllä katettu osuus kasvaa entisestään, eikä sähkövastuksia tarvita tuottamaan lisälämpöä. Salen kohdalla tämä johtuu suurella todennäköisyydellä IV-koneeseen asennetusta esilämmityspatterista, johon ajetaan viimeisetkin lämmöt, jota lauhdelämmön talteenotosta saadaan irti. Järjestelmä on vielä säädetty niin, että mikäli pyydetty tuloilman lämpötila uhkaa nousta asetusarvoa suuremmaksi, alkaa IV-koneessa sijaitseva pyörivä lämmöntalteenottokiekko hidastaa pyörimisnopeutta, jolloin tuloilmaan ei siirry niin paljon lämpöä poistoilmasta. Tällöin lauhdelämmöstä saadaan esilämmityspatterin avulla aina täysi hyöty talteen. S-markettien kohdalla lauhdelämmöstä saatava hyöty jäi pienemmäksi ollen kuitenkin 20 %:n luokkaa rakennuksen lämmitysenergian tarpeesta helmikuussa.

Sähkönkulutuksestaan ei löydetty mitään suuria poikkeamia alkuperäisestä oletuksesta. Kylmälaitteiden kuluttama sähköenergia on merkittävässä roolissa markettien kokonaissähkönkulutuksesta. Etenkin kesäaikaan kylmälaitteet kuluttavat yli puolet rakennuksen käyttämästä sähköstä. Talvella sähkölämmitteisissä rakennuksissa myös sähkökattilan ja -vastusten kuluttama sähköenergia nousee suureen rooliin. Laskelmien mukaan kylmälaitteiden kuluttamasta sähköenergiasta saadaan reilu kolmannes palautettua lauhdelämmön talteenoton kautta takaisin myymälään. Tämä on merkittävä lisä rakennuksen lämmitykseen, koska muuten lauhdelämpö puhallettaisiin katolta ulos. Suurin ongelma lauhdelämmön talteenoton parasta tehokkuutta hakiessa onkin se, miten siitä saatava lämpöenergia pystyttäisi kaikkein tehokkaimmin hyödyntämään. Ongelmana on lauhdelämmön suuri saatavuus kesällä, jolloin lämmitystarvetta ei ole paljoakaan. Toisaalta talvella, jolloin rakennus tarvitsisi lämmitysenergiaa, sitä ei ole lauhdelämmöstä yhtä paljon saatavilla. Järkevää olisikin ladata ylimääräistä lämpöä kesällä esimerkiksi lämpökaivoon, josta sitä voidaan hyödyntää talvella. Tutkimuksen mukaan lauhdelämmön talteenotolle palaavan nesteen lämpötilaa kannattaisi pudottaa mahdollisimman matalalle, mikäli se vain on järkevästi mahdollista. Suosi-

teltavaa olisikin asentaa esimerkiksi Sale Jyrängön kaltainen IV-koneen esilämmityspatteri. Myös ovien edustojen ja lastauslaitureiden sulatukset voitaisi liittää talteenoton piiriin, jolloin kaikki lämpö tulisi hyödynnettyä mahdollisimman tehokkaasti.

Mittaustulokset saatiin puhtaasti rakennusautomaation etämonitoroiduista mittareista. Sähkönkulutuksen mittausten oletetaan pitävän paikkaansa varsin hyvin, sillä sähköyhtiöt laskuttavat nykyään jo tällaisten etäluettavien sähkömittareiden perusteella. Energiamittareiden paikkansapitävyydestä ei ole niin varmaa tietoa, mutta oletettavaa on että ne näyttävät varsin hyvin kulutetun energiamäärän. Erillistä tarkastusmittausta ei ryhdytty tekemään, sillä pienen mittarivirheen ei oletettu vaikuttavan lopputulokseen kuukauden kestävässä mittauksessa. Lisäksi esimerkiksi Jyrängön ja Villähteen lauhdelämmön talteenotosta saadut energiamäärät eivät olleet tallentuneet Haahtelan palveluun, joten näiden kohdalla jouduttiin lauhdelämmön talteenotosta saatu lämpömäärä laskemaan kylmäkoneiden kuluttaman sähköenergian kautta. Tämä menetelmä on tietenkin parempi kuin puhdas arvaus, mutta silti tarkkoja mittaustuloksia olisi kaivattu.

Rakennukset olivat myös kaikki valmistuneet lähiaikoina. Tämän johdosta mikään rakennuksista ei ole ollut normaalissa käytössä vielä yli vuotta, mikä osaltaan vaikuttaa saatuihin tuloksiin. Rakennuksissa on todennäköisesti käytössä tehostettu ilmanvaihto tuulettamassa rakennusmateriaaleista syntyviä päästöjä pois, mikä vaikuttaa oletettavasti jonkin verran lopputuloksiin. Parempi olisikin, että rakennukset olisivat olleet muutaman vuoden käytössä ja niiden käyttö olisi tasaantunut, jolloin lopputulokset olisivat olleet varmasti jonkin verran tarkempia. Tällaisten kohteiden löytäminen oli kuitenkin haasteellista, sillä hiilidioksidia ei ole käytetty kauaa kylmäaineena. Mielenkiintoista olisikin toistaa sama tutkimus samoille kohteille muutaman vuoden kuluttua, jolloin rakennusten käyttö on vakiintunut ja saataisiin hyödynnettyä rakennuksen mitattuja vuosittaisia kulutuksia. Mukaan vertailuun kannattaisi ottaa myös aurinkolämpöjärjestelmät, sekä erilaiset hybridijärjestelmät kattavan vertailun aikaansaamiseksi.

Tutkimuksessa ei päästy myöskään selvittämään kylmäkoneen lauhdutuspaineen noston vaikutusta kokonaisenergian kulutukseen. Paineen noston johdosta kylmäkoneen sähkönkulutus nousee ja kylmäkerroin pienenee. Olisi mielenkiintoista tutkia, miten se vaikuttaa rakennuksen kokonaisenergian kulutukseen, sillä silloin kenties lauhde-

lämmön talteenoton avulla saataisi rakennusta lämmitettyä tehokkaammin ja näin ollen leikattua mahdollisesti lisälämmön tarvetta. Tällöin kylmäkoneen sähköverkosta ottama sähköenergia siirtyisi lauhdelämmön talteenoton avulla rakennuksen lämmitysjärjestelmään ja samalla elintarvikkeille saataisi tehtyä tarvittavaa kylmäenergiaa. Lisäksi lauhdelämmön talteenotosta saataisi kuumempaa vettä, jota voitaisiin hyödyntää esimerkiksi lämpimän käyttöveden lämmittämiseen. Nämä yhdistettynä marketissa oleviin lämpökuormiin, joita syntyy ainakin valaistuksesta ja ihmisistä, voisi riittää rakennuksen lämmittämiseen. Toisaalta tällöin rakennuksessa täytyisi olla mahdollisimman jatkuvat kuormat, jotta paineen nostoa voitaisiin hyödyntää tehokkaasti. Markettikohteissa tällaista jatkuvaa kuormaa ei kuitenkaan ole, koska yöaikaan käytännössä lähes kaikki kuormat rakennuksesta katoavat. Tällöin kylmäkalusteillakaan ei ole suurta jäähdytystarvetta, eli paineen nostamisella ei välttämättä saavuteta haluttua etua. Lisäksi rakennuksen ostoenergioita tarkasteltaessa on syytä pitää mielessä rakennuksen energian taseraja, eli mitä energiaa rakennukseen tuodaan ja mitä sieltä poistuu.

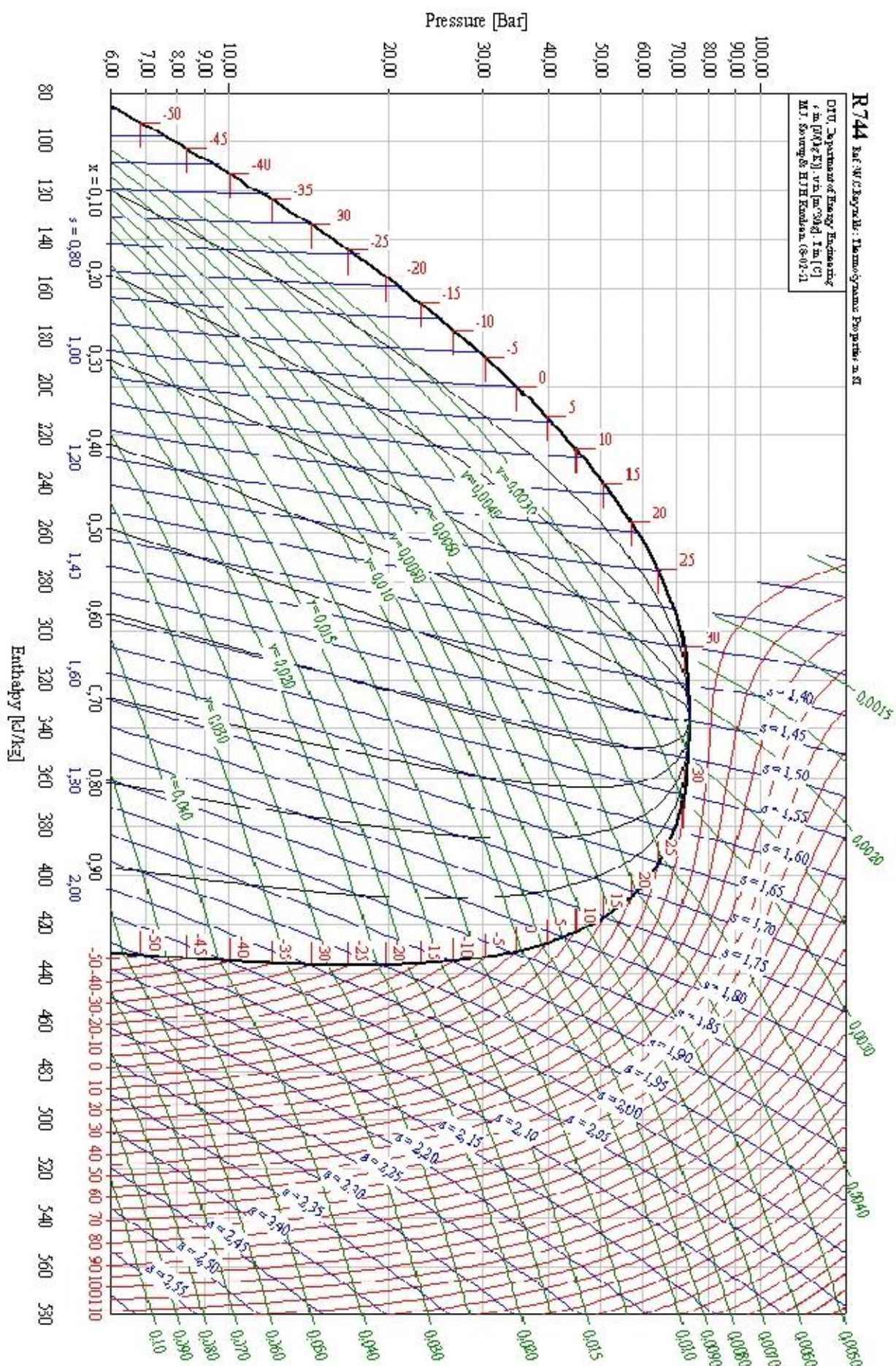
Tarkasteltavat kohteet edustavat melko hyvin normaalia Suomessa rakennettavaa myymälätyyppiä. Verrattaessa muihin vastaavanlaisiin jo valmistuneisiin kohteisiin havaittiin, että rakennukset ovat niin rakenteeltaan kuin kulutukseltaankin hyvin keskivertoa rakennuskantaa. Rakennusten energiankulutusta on syytä vertailla myös senkin takia, että se vaikuttaa suoraan lämmitysjärjestelmän valintaan. Mikäli rakennuksessa on suuri lisälämmitystarve, maksaa kaukolämpöjärjestelmä itsensä takaisin suhteessa nopeammin, kuin pienemmän kulutuksen omaavassa rakennuksessa. Maalämpöjärjestelmällä näin suurta takaisinmaksuajan eroavuutta ei ilmene, koska investointikustannukset muuttuvat sen mukaan mikä on tarvittava tehon- ja energiantarve rakennuksessa. Tokihan näin käy myös kaukolämmössä, mutta suhteessa muutos on pienempi.

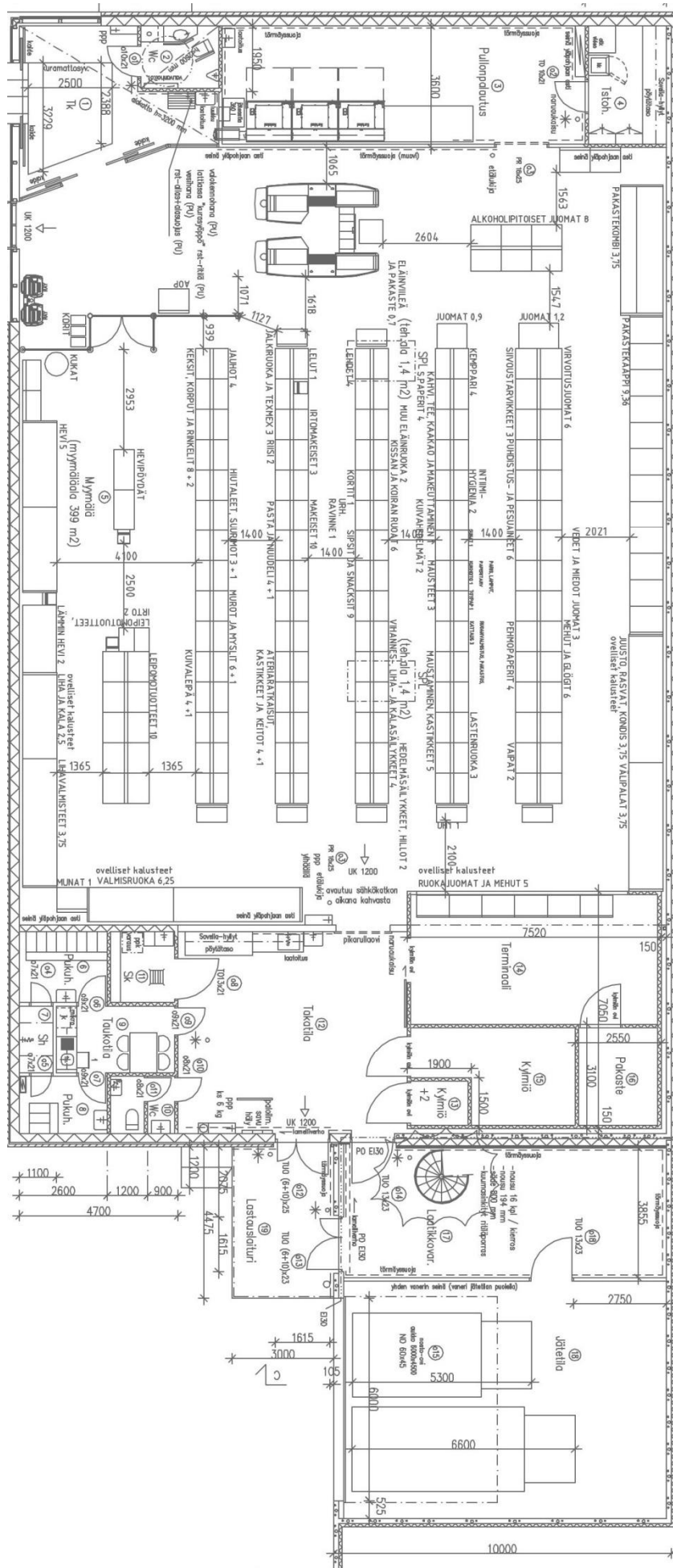
LÄHTEET

1. Aittomäki, Antero (toim.). Hiilidioksidi kylmälaitoksissa. Käyttökohteet, hyödyt ja tutkimustarve. Tampere: Tampereen teknillinen yliopisto. 2002.
2. Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus fluoratuista kasvihuonekaasuista. Ehdotus COM/2012/0643. Verkkodokumentti. <http://www.ipex.eu/IPEXL-WEB/dossier/document/COM20120643.do>. Julkaistu 7.11.2012. Luettu 4.1.2013.
3. Kianta, Jari. Kylmäainetilanne 2008. Verkkodokumentti. <http://www.skll.fi/yhdistys/www/att.php?type=2&id=37>. Julkaistu 25.8.2008. Luettu 4.1.2013.
4. Aittomäki, Antero. Hiilidioksidi kylmälaitoksissa. Kokemukset Suomessa. Tampere: Tampereen teknillinen yliopisto. 2005
5. Kaupan kylmälaitteiden ja – järjestelmien lauhdelämmön talteenotto. Laskentaohje. Motiva. Verkkodokumentti. http://www.motiva.fi/julkaisut/kaikki_julkaisut/kaupan_kylmalaitteiden_ja_jarjestelmien_lauhdelaammon_talteenotto_-_laskentaohje.4969.shtml. Julkaistu 04/2012. Luettu 4.1.2013.
6. Hakala, Pertti & Kaapola, Esko. Kylmälaitoksen suunnittelu. Gummerus Kirjapaino Oy. 2005
7. Jokela, Matti. Hiilidioksidista takaisin hiilidioksidiin. Kehittyvä elintarvike 05/2010. Verkkolehti. <http://kehittyvaelintarvike.fi/lehtiarkisto/nro-5-2010>. Julkaistu 22.10.2010. Luettu 4.1.2013.
8. Heikkilä, Timo. R744 kylmätekniikkaa. Power Point-esitys 2.2.2012. Luettu 15.2.2013.
9. Ruuskanen, Aki. Henkilökohtainen tiedonanto 28.1.2013. Tuote- ja markkinointipäällikkö. Carrier Oy.
10. Uusi Sale parantaa Heinolan Jyrängön alueen lähipalveluita. Osuuskaupan tiedote 22.11.2012. Verkkodokumentti. http://www.skanava.fi/web/hameenmaa/tiedote?announcement=349389_11214. Julkaistu 22.11.2012. Luettu 24.2.2013.
11. Kohteen Sale Jyränkö LVI-suunnitelmat. Granlund Lahti Oy.

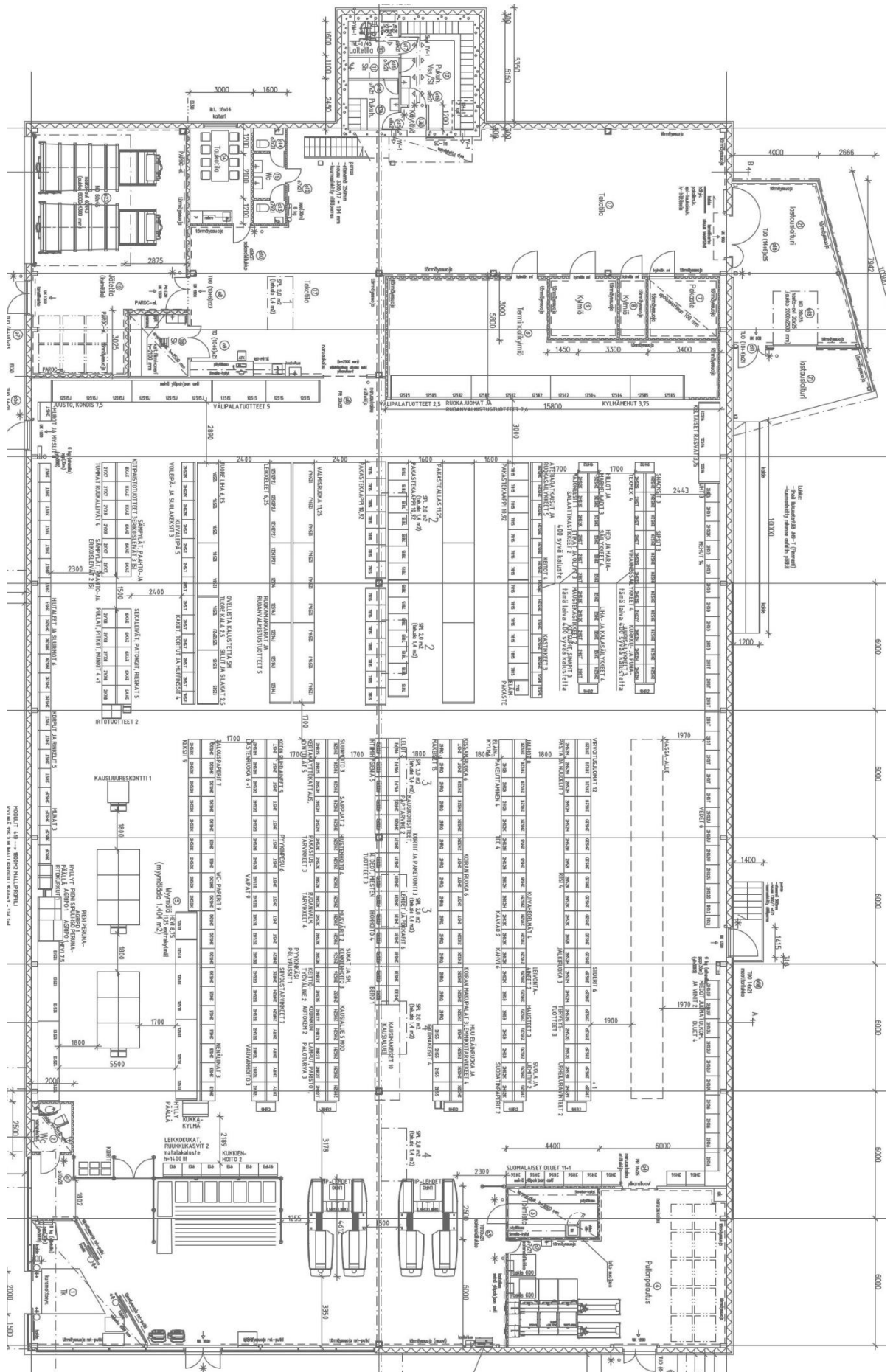
12. S-market Villähde avaa uusissa tiloissaan. Osuuskaupan tiedote 31.5.2012. Verkkodokumentti. http://www.s-kanava.fi/web/hameenmaa/tiedote?announcement=252895_11214. Julkaistu 31.5.2012. Luettu 24.2.2013.
13. Kohteen S-market Villähde LVI-suunnitelmat. Granlund Lahti Oy.
14. Lammilla avataan uusi S-market. Etelä-Suomen sanomat. Verkkodokumentti. <http://www.ess.fi/?article=369006>. Julkaistu 25.4.2012. Luettu 24.2.2012.
15. Kohteen S-market Lammi LVI-suunnitelmat. Granlund Lahti Oy.
16. Kaukolämmön hinnat tyyppitaloissa eri paikkakunnilla 1.1.2013. Energiateollisuus. Verkkodokumentti. <http://energia.fi/tilastot/kaukolammon-hinnat-tyyppitaloissa-eri-paikkakunnilla>. Luettu 1.3.2012.
17. Sähkön hinnan kehitys 1.1.2013. Energiamarkkinavirasto. Verkkodokumentti. <http://www.energiamarkkinavirasto.fi/data.asp?articleid=3359&pgid=67&languageid=246>. Luettu 1.3.2013.
18. Kaukolämmön liittymishinnasto 1.2.2013. Helsingin Energia Oy. Verkkodokumentti. http://www.helen.fi/hinnasto/liittymismaksut_lampo.pdf. Luettu 1.3.2013.
19. Sähkön liittymismaksut 1.1.2010 lähtien. Lahti Energia Oy. Verkkodokumentti. <http://www.lahtienergia.fi/sahkon-siirto/palvelut-ja-hinnastot/liittymismaksut-pienjaenniteverkossa>. Luettu 1.3.2013.
20. Hinnasto 1.5.2007.. Oy Termocal Ab Termax. Verkkodokumentti. http://www.termox.fi/easydata/customers/termocal/files/liitetiedostot/Hinnasto_01052007.pdf. Luettu 1.3.2013.
21. Laskukaavat: lämmin käyttövesi. Motiva. Verkkodokumentti. http://www.motiva.fi/julkinen_sektori/energiankayton_tehostaminen/kiinteistojen_energianhallinta/kulutuksen_normitus/laskukaavat_lammin_kayttovesi. Luettu 1.3.2013.

Hiilidioksidin Lg p,h-tilapiirros





S-market Villähde, pohjapiirustus



S-market Lammi, pohjapiirustus

